МрБ

Ю.И Козюренко

В[illegible]енное звуко-воспр[illegible]ие

[illegible]

ББК 32.848
К59
УДК 681.84.083.8

Федеральная целевая программа книгоиздания России

Редакционная коллегия:
Б.Г.Белкин, С.А.Бирюков, В.Г.Борисов, В.М.Бондаренко, Е.Н.Геништа, А.В.Гороховский, С.А.Ельяшкевич, И.П.Жеребцов, В.Т.Поляков, Ф.И.Тарасов, О.П.Фролов, Ю.Л.Хотунцев, Н.И.Чистяков

Рецензент В.И.Шоров

Козюренко Ю.И.
К59 Высококачественное звуковоспроизведение. — М.: Радио и связь, 1993. — 144 с.: ил. — (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1191).
ISBN 5-256-00537-5.

Рассмотрен комплекс вопросов реализации высококачественного звуковоспроизведения. Приведены основные характеристики источников низкочастотных сигналов, грампластинок, магнитных фонограмм и др. Подробно рассматриваются вопросы звуковых программ.

Для широкого круга читателей, интересующихся вопросами высококачественного звуковоспроизведения.

К $\frac{2303040500 - 043}{046(01) - 93}$ 28 – 93 ББК 32.848

ISBN 5-256-00537-5

© Козюренко Ю.И., 1993

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современные стереоустановки представляют собой комплекс, состоящий из ряда автономных устройств: источников звуковых сигналов (электропроигрывателя, магнитофона, тюнера), аппаратуры усиления, акустических систем и т.п. Каждое из этих устройств имеет самостоятельное значение и характеризуется показателями качества, определяющими качество воспроизводимой программы в целом. Именно по этой причине вся бытовая радиоэлектронная аппаратура разбита на группы сложности (классы качества). При звуковоспроизведении на аппаратуре высшей (нулевой) группы сложности искажения и помехи 75...80 % высококвалифицированных экспертов (музыканты или звукорежиссеры) практически не замечают и будут совершенно незаметны для рядовых слушателей (90%). При непосредственном сравнении звуковоспроизведения аппаратуры первой группы с высшей различие в качестве звучания замечают примерно 50 % экспертов и 20...25 % рядовых слушателей. При звуковоспроизведении на аппаратуре второй группы искажения и помехи замечают примерно 50 % рядовых слушателей.

Техника высококачественного звуковоспроизведения развивается настолько стремительно, что казавшиеся оптимальными недавние устройства сейчас считаются устаревшими. Этот процесс связан как с появлением новых, более совершенных, электрон-

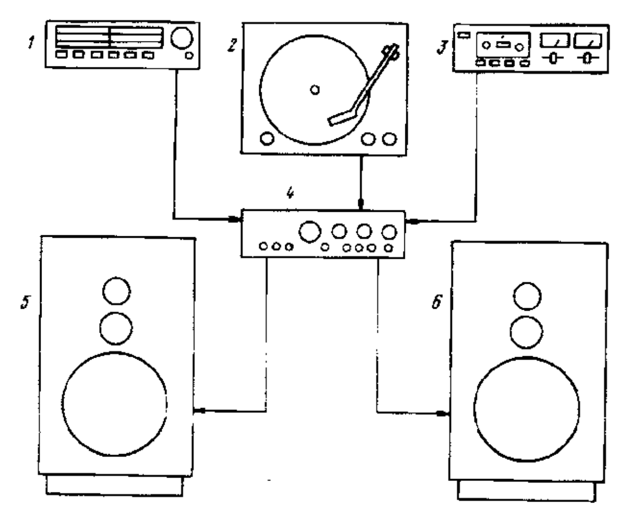


Рис. 1. Минимальный комплект бытовой радиоаппаратуры

ных элементов, так и с разработкой принципиально новых схемотехнических решений, обеспечивающих наилучшие характеристики звуковоспроизводящего тракта.

Широкий ассортимент отечественной и зарубежной аппаратуры позволяет компоновать различные по составу стереоустановки.

На рис.1 показан минимальный комплект аппаратуры: УКВ тюнер 1; электропроигрыватель 2; кассетная магнитофонная приставка 3; усилитель 4 и две акустические системы (АС) 5 и 6. На рис. 2 показан полный комплект аппаратуры: УКВ тюнер 1; кассетная магнитофонная приставка 2; электропроигрыватель 3; катушечная магнитофонная приставка 4; лазерный проигрыватель 5; предусилитель 6; эквалайзер 7; стереотелефоны 8; усилитель мощности 9; две пары АС 10 и 11,12 и 13.

Усилитель мощности желательно укомплектовать селектором выхода для подключения дополнительных АС, установленных, например, в соседней комнате. Требования к входным и выходным параметрам РЭА (ГОСТ 24863 — 81), обеспечивающие возможность стыковки различной аппаратуры между собой, приведены в приложении 2.

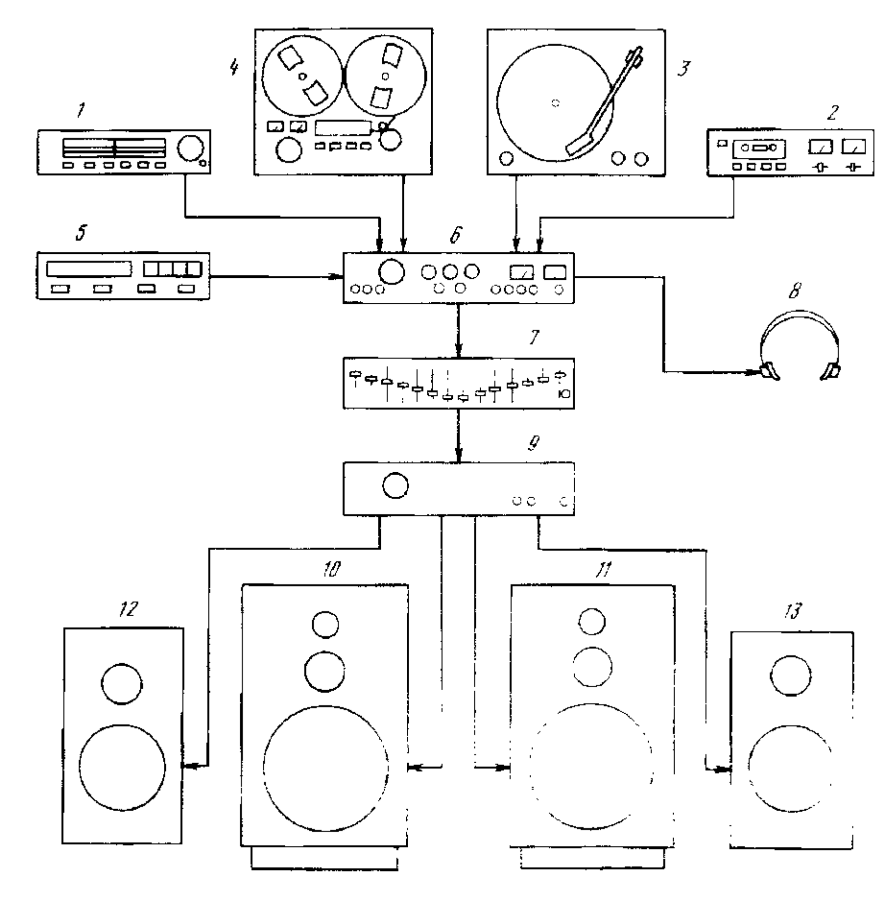


Рис. 2. Полный комплект бытовой радиоаппаратуры

Глава 1

ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ЗВУКА

Психоакустика — область науки, граничащая между физикой и психологией, изучает данные о слуховом ощущении человека при действии на ухо физического раздражения — звука. Накоплен большой объем данных о реакциях человека на слуховые раздражения. Без этих данных трудно получить правильное представление о работе систем передачи сигналов звуковой частоты. Рассмотрим наиболее важные особенности восприятия звука человеком.

Человек ощущает изменения звукового давления, происходящие с частотой 20...20 000 Гц. Звуки с частотой ниже 40 Гц сравнительно редко встречаются в музыке и не существуют в разговорной речи. На очень высоких частотах музыкальное восприятие исчезает и возникает некое неопределенное звуковое ощущение, зависящее от индивидуальности слушателя, его возраста. С возрастом чувствительность слуха у человека уменьшается и прежде всего в области верхних частот звукового диапазона.

В табл. 1 показана зависимость (в процентах) воспринимаемых звуковых частот от возраста слушателя.

Но было бы неправильно делать на этом основании вывод, что для пожилых людей неважна передача звуковоспроизводящей установкой широкой полосы частот. Эксперименты показали, что люди, даже едва воспринимающие сигналы выше 12 кГц, очень легко распознают в музыкальной передаче недостаточность верхних частот.

Таблица 1

Возраст	Частота, Гц					
	800	10 000	12 000	14 000	16 000	18 000
16 — 19	100	100	100	100	80	60
20 — 29	100	100	100	90	60	40
30 — 39	100	100	90	70	30	20
40 — 49	100	90	70	40	15	10
50 — 59	100	80	40	20	5	0
60 — 69	90	70	20	0	0	0

Примечание. Данные получены при воспроизведении музыки с уровнем 85 дБ (форте).

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛУХОВЫХ ОЩУЩЕНИЙ

Область слышимых человеком звуков в диапазоне 20...20 000 Гц ограничивается по интенсивности порогами : снизу — слышимости и сверху — болевых ощущений. На рис. 3 приведены частотные характеристики слуховых ощущений равной громкости.

Порог слышимости оценивается минимальным давлением, точнее, минимальным приращением давления относительно границы чувствителен к частотам 1000...5000 Гц — здесь порог слышимости самой низкий (звуковое давление около $2 \cdot 10^{-5}$ Па, что соответствует интенсивности 10^{-12} Вт/м^2). В сторону низших и высших звуковых частот чувствительность слуха резко падает.

Порог болевых ощущений определяет верхнюю границу восприятия звуковой энергии и соответствует примерно интенсивности звука 10 Вт/м^2 или 130 дБ (для опорного сигнала с частотой 1000 Гц).

При увеличении звукового давления увеличивается и интенсивность звука, причем слуховое ощущение нарастает скачками, называемыми порогом различения интенсивности. Число этих скачков на средних частотах примерно 250, на низких и высоких частотах оно уменьшается и в среднем по частотному диапазону составляет около 150.

Поскольку диапазон изменения интенсивностей 130 дБ, то элементарный скачок ощущений в среднем по диапазону амплитуд равен 0,8 дБ, что соответствует изменению интенсивности звука в 1,2 раза. При низких уровнях слуха эти скачки достигают 2...3 дБ, при высоких уровнях они уменьшаются до 0,5 дБ (в 1,1 раза). Увеличение мощности усилительного тракта меньше чем в 1,44 раза практически не фиксируется ухом человека. При более низком звуковом давлении, развиваемом громкоговорителем, даже двукратное увеличение мощности выходного каскада может не дать ощутимого результата.

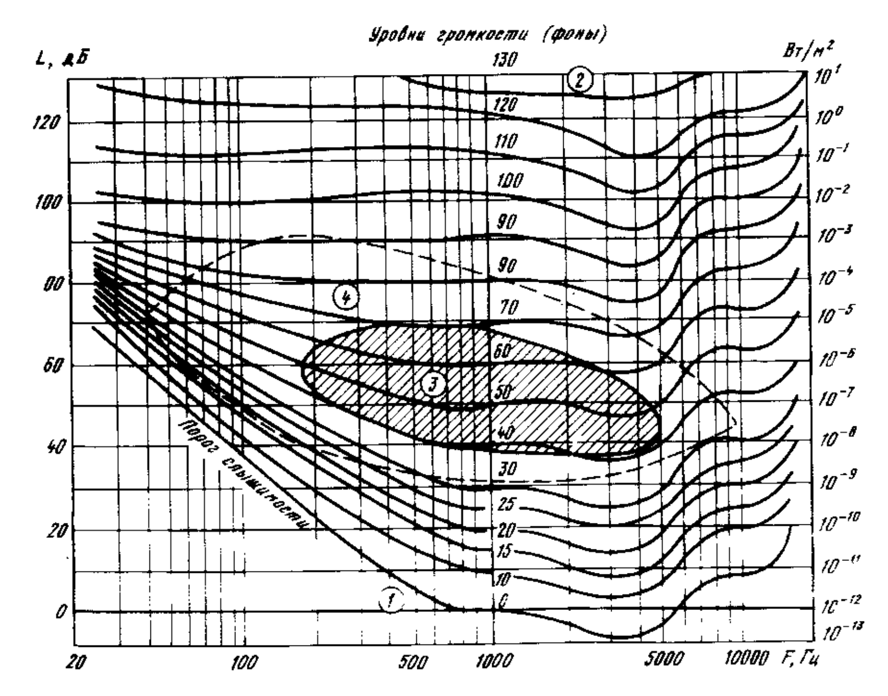


Рис. 3. Частотные характеристики ощущений равной громкости:
1 — характеристика порога слышимости; 2 — уровни болевых ощущений; 3 — область речевых передач; 4 — область музыкальных передач

Таблица 2

Субъективные ощущения	Звуковое давление, Па	Уровень звукового давления, дБ	Уровень громкости, фон	Интенсивность звука, Вт/м^2
Болевой порог	20	120	120	1
	2	100	100	10^{-2}
	$2 \cdot 10^{-1}$	80	80	10^{-4}
	$2 \cdot 10^{-2}$	60	60	10^{-6}
	$2 \cdot 10^{-3}$	40	40	10^{-8}
	$2 \cdot 10^{-4}$	20	20	10^{-10}
Порог слышимости	$2 \cdot 10^{-5}$	0	0	10^{-12}

Соотношение между звуковым давлением, уровнем громкости и интенсивностью приведено в табл.2.

СУБЪЕКТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКА

Качество звукопередачи оценивается на основе слухового восприятия. Поэтому правильно определить технические требования к тракту звукопередачи или отдельным его звеньям можно, только изучив закономерности, связывающие субъективно воспринимаемое ощущение звука и объективными характеристиками звука являются высота, громкость и тембр.

Понятие высоты звука подразумевает субъективную оценку восприятия звука по частотному диапазону. Звук принято характеризовать не частотой, а высотой тона.

Тон — это сигнал определенной высоты, имеющий дискретный спектр (музыкальные звуки, гласные звуки речи). Сигнал, обладающий широким непрерывным спектром, все частотные составляющие которого имеют одинаковую среднюю мощность, называется *белым шумом.*

Постепенное увеличение частоты звуковых колебаний от 20 до 20 000 Гц воспринимается как постепенное изменение тона от самого низкого (басового) до наиболее высокого.

Степень точности, с которой человек определяет высоту звука на слух, зависит от остроты, музыкальности и тренировки его слуха. Следует отметить, что высота звука в какой-то степени зависит от интенсивности звука (при больших уровнях звуки большей интенсивности кажутся ниже, чем слабые).

Ухо человека хорошо различает два близких по высоте тона. Например, в области частот примерно 2000 Гц человек может различать два тона, которые отличаются друг от друга по частоте на 3...6 Гц.

Субъективный масштаб восприятия звука по частоте близок к логарифмическому закону. Поэтому увеличение частоты колебаний вдвое (независимо от начальной час-

тоты) всегда воспринимается как одинаковое изменение высоты тона. Интервал высоты, соответствующий изменению частоты в 2 раза, называется *октавой*. Диапазон частот, воспринимаемых человеком, 20...20 000 Гц, он охватывает приблизительно десять октав.

Октава — достаточно большой интервал изменения высоты тона; человек различает значительно меньшие интервалы. Так, в десяти октавах, воспринимаемых ухом, можно различить более тысячи градаций высоты тона. В музыке используются меньшие интервалы, называемые полутонами и соответствующие изменению частоты приблизительно в 1,054 раза.

Октаву делят на полуоктавы и третьоктавы. Для последних стандартизован следующий ряд частот: 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10, являющихся границами третьоктав. Если эти частоты расположить на равных расстояниях по оси частот, то получится логарифмический масштаб. Исходя из этого все частотные характеристики устройств передачи звука строят в логарифмическом масштабе.

Громкость передачи зависит не только от интенсивности звука, но и от спектрального состава, условий восприятия и длительности воздействия (см. рис.3). Так, два звучащих тона средней и низкой частоты, имеющие одинаковую интенсивность (или одинаковое звуковое давление), воспринимаются человеком не как одинаково громкие. Поэтому введено понятие уровня громкости в фонах для обозначения звуков одинаковой громкости. За уровень громкости звука в фонах принимают уровень звукового давления в децибелах такой же громкости чистого тона частотой 1000 Гц, т.е для частоты 1000 Гц уровни громкости в фонах и децибелах совпадают. На других частотах при одном и том же звуковом давлении звуки могут казаться более громкими или более тихими.

Кривые, приведенные на рис.3, называются кривыми равной громкости. Каждая кривая соответствует некоторому уровню громкости, выраженному в фонах, и дает возможность вычислить уровень интенсивности звуковых колебаний на различных частотах, при которых создается эта громкость, например уровню громкости в 30 фон на частоте 100 Гц соответствует уровень интенсивности звука 60 дБ.

Предположим, что мы на концерте симфонической музыки и с помощью "идеального" магнитофона делаем его запись; предположим также, что средний уровень громкости в зале 90 фон. Вернувшись домой, включаем магнитофон через "идеальную" систему воспроизведения, не вносящую никаких искажений в запись, но, чтобы не мешать соседям по квартире, устанавливаем уровень громкости 70 фон.

При прослушивании фонограммы обнаруживаем, что музыкальное произведение потеряло "краски", не хватает высоких и низких частот. Чтобы обеспечить высокое качество воспроизведения в современной звукоусилительной аппаратуре при уменьшении уровня громкости, с помощью тонкомпенсирующего регулятора изменяют коэффициент усиления в области низкочастотных (30...100 Гц) и высокочастотных (8000...10 000 Гц) сигналов, компенсирующий в какой-то степени потерю чувствительности слуха на НЧ и ВЧ при снижении громкости прослушивания.

Опыт работы звукорежиссеров по записи и монтажу музыкальных произведений показывает, что для лучшего обнаружения дефектов звучания, которые могут возникнуть в процессе работы, уровень громкости при контрольном прослушивании следует поддерживать высоким, примерно соответствующим уровню громкости в зале.

При длительном воздействии интенсивного звука чувствительность слуха постепенно снижается, и тем больше, чем выше громкость звука. Обнаруживаемое снижение

чувствительности связано с реакцией слуха на перегрузку, т.е. с естественной его адаптацией. После некоторого перерыва в прослушивании чувствительность слуха восстанавливается. К этому следует добавить, что слуховой аппарат при восприятии сигналов высокого уровня привносит свои, так называемые субъективные, искажения (что свидетельствует о нелинейности слуха). Так, при уровне сигнала 100 дБ первая и вторая субъективные гармоники достигают уровня 85 и 70 дБ.

Значительный уровень громкости и длительное его воздействие вызывают необратимые явления в слуховом органе. Отмечено, что у молодежи за последние годы резко возросли пороги слышимости. Причиной этого явилось увлечение поп-музыкой, отличающейся высокими уровнями громкости звучания.

Уровень громкости измеряют с помощью электроакустического прибора — шумомера. Измеряемый звук сначала преобразуется микрофоном в электрические колебания. После усиления специальным усилителем напряжения этих колебаний измеряют стрелочным прибором, отрегулированным в децибелах. Чтобы показания прибора как можно более точно соответствовали субъективному восприятию громкости, прибор снабжен специальными фильтрами, изменяющими его чувствительность к восприятию звука разных частот в соответствии с характеристикой чувствительности слуха.

Важной характеристикой звука является тембр. Способность слуха различать его позволяет воспринимать сигналы с большим разнообразием оттенков. Звучание каждого из инструментов и голосов благодаря характерным для них оттенкам становится многокрасочным и хорошо узнаваемым.

Тембр, являясь субъективным отображением сложности воспринимаемого звучания, не имеет количественной оценки и характеризуется терминами качественного порядка (красивый, мягкий, сочный и др.). При передаче сигнала по электроакустическому тракту возникающие искажения в первую очередь влияют на тембр воспроизводимого звука. Условием правильной передачи тембра музыкальных звуков является неискаженная передача спектра сигнала. *Спектром сигнала* называют совокупность синусоидальных составляющих сложного звука.

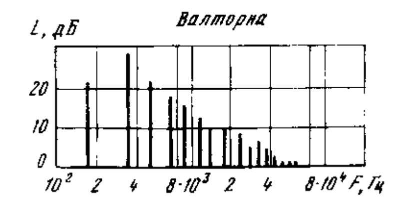
Простейшим спектром обладает так называемый чистый тон, в нем присутствует только одна частота. Более интересным оказывается звук музыкального инструмента: его спектр состоит из частоты основного тона и нескольких "примесных" частот, называемых *обертонами* (высшими тонами). Обертоны кратны частоте основного тона и обычно меньше его по амплитуде.

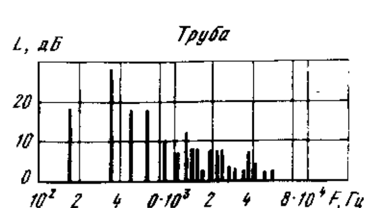
От распределения интенсивности по обертонам зависит тембр звука. На рис.4 показаны спектры звуков одной высоты, взятой на разных музыкальных инструментах. Звуки разных музыкальных инструментов различаются по тембру.

Более сложным оказывается спектр сочетания музыкальных звуков, называемый *аккордом*. В таком спектре присутствуют несколько основных частот вместе с соответствующими обертонами.

На рис. 5 показан один из спектров шума. Отличительная его особенность состоит в непрерывном распределении частот в некоторой полосе.

Различия в тембре определяются в основном низко- и средне- частотными составляющими сигнала, следовательно, и большое разнообразие тембров связано с сигналами, лежащими в нижней части частотного диапазона. Сигналы же, относящиеся к верхней его части, по мере повышения все больше теряют свою окраску тембра, что обусловлено постепенным уходом их гармонических составляющих за пределы слышимых частот. Это можно объяснить тем, что в образовании тембра низких звуков активно





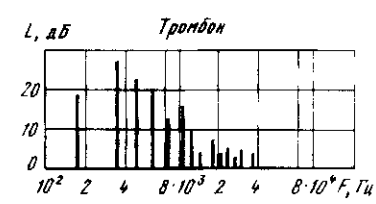


Рис. 4. Спектры звуков одной высоты разных музыкальных инструментов

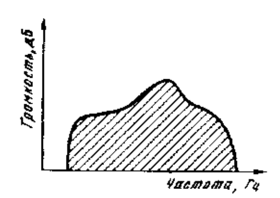


Рис. 5. Спектр шума

участвуют до 20 и более гармоник, средних 8 — 10, высоких 2 — 3, так как остальные либо слабы, либо выпадают из области слышимых частот. Поэтому высокие звуки, как правило, по тембру беднее.

Практически у всех естественных источников звука, в том числе и у источников музыкальных звуков, наблюдается специфическая зависимость тембра от уровня громкости. К такой зависимости приспособлен и слух — для него является естественным определение интенсивности источника по окраске звука. Громкие звуки обычно являются и более резкими.

Тембровый признак громкости звука часто даже существеннее, чем уровень звукового давления, так как тембр для слуха меньше зависит от того, на каком расстоянии находится источник, т.е. от абсолютного уровня звукового даалeния в точке приема. Всегда легко отличить форте оркестра при тихом воспроизведении от пиано при полном усилении и т.п. Нарушение указанной зависимости создает противоестественное ощущение. Например, регулирование громкости в современных электромузыкальных устройствах, регуляторы которых изменяют только уровень звукового давления, не создавая никакого ощущения звукового напряжения, яркости. А ведь именно яркость и напряженность громкого звучания вызывают эмоцию силы в сравнении с нежностью и слабостью, свойственными звукам мягким и приглушенным.

МУЗЫКАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗВУКА

Большое влияние на качество звучания электроакустических систем оказывает ряд факторов, характеризующих первичные источники звуков.

Акустические параметры музыкальных источников зависят от состава исполнителей (оркестр, ансамбль, группа, солист) и типа музыки (симфоническая, народная, эстрадная и пр.).

Зарождение и формирование звука на каждом музыкальном инструменте имеет свою специфику, связанную с акустическими особенностями звукообразования в том или ином музыкальном инструменте.

Важным элементом музыкального звука является *атака*. Это — специфический переходный процесс, в течение которого устанааливаются стабильные характеристики звука: громкость, тембр, высота. Любой музыкальный звук проходит три стадии — начало, середину и конец, причем и начальная, и конечная стадии имеют некоторую

продолжительность. Начальная стадия называется атакой. Длится она по-разному: у щипковых, ударных и некоторых духовых инструментов 0...20 мс, у фагота 20...60 мс. Атака — это не просто нарастание громкости звука от нуля до некоторого установившегося значения, она может сопровождаться таким же изменением высоты звука и его тембра. Причем характеристики атаки инструмента неодинаковы в разных участках его диапазона при разной манере игры: скрипка по богатству возможных выразительных способов атаки — наиболее совершенный инструмент. Неискаженная передача атаки музыкальных инструментов при воспроизведении — одна из проблем для конструкторов высококачественных громкоговорителей.

Одна из характеристик любого музыквльного инструмента *частотный диапазон звучания*. Диапазоны звучания основных музыкальных инструментов приведены на рис. 6. Сверху под частотной шкалой (в логарифмическом масштабе) показана клавиатура фортепиано, а ниже представлены диапазоны основных частот различных музыкальных инструментов. Клавиатура фортепиано начинается со звука "ля" субконтроктавы (27,5 Гц), а кончается звуком "до" пятой октавы (4186 Гц). Клавиши, помеченные

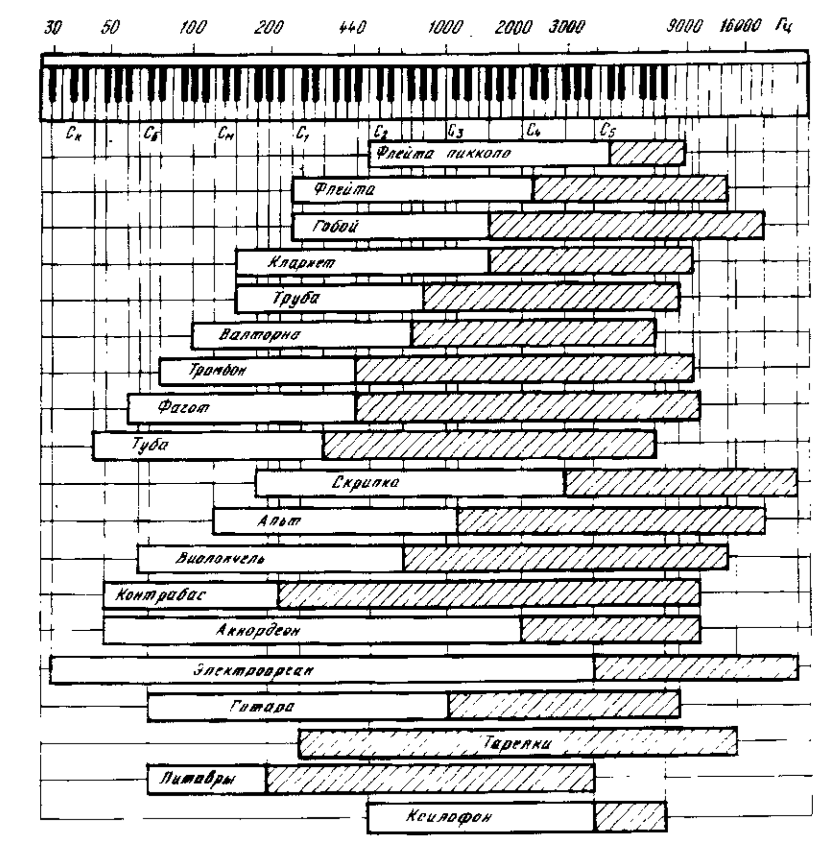


Рис. 6. Частотный диапазон музыкальных инструментов

буквой "C", соответствуют звуку "до" (с него начинается каждая октава). Кроме основных частот каждый инструмент характеризуется дополнительными высококачественными составляющими — обертонами (или, как принято в электроакустике, — высшими гармониками), определяющими его специфический тембр. Частотные диапазоны обертонов на рисунке заштрихованы.

Известно, что звуковая энергия неравномерно распределяется по всему спектру звуковых частот, излучаемых источником.

Большинство инструментов характеризуется усилением основных частот, а также отдельных обертонов в определенных (одной или нескольких) относительно узких полосах частот (формантах), различных для каждого инструмента. Резонансные частоты (в герцах) формантной области составляют: для трубы 100...200, валторны 200...400, тромбона 300...900, трубы 800...1750, саксофона 350...900, гобоя 800...1500, фагота 300...900, кларнета 250...600.

Другое характерное свойство музыкальных инструментов — *сила их звука* — обусловливается большей или меньшей амплитудой (размахом) их звучащего тела или воздушного столба (большей амплитуде соответствует более сильное звучание и наоборот). Значение пиковых акустических мощностей (в ваттах) составляет: для большого оркестра 70, большого барабана 25, литавр 20, малого барабана 12, тромбона 6, фортепиано 0,4, трубы и саксофона 0,3, трубы 0,2, контрабаса 0,16, малой флейты 0,08, кларнета, валторны и треугольника 0,05.

На рис. 7 показан общий характер распределения звуковой энергии при исполнении типичных музыкальных произведений.

Отношение мощности звука, извлекаемого из инструмента при исполнении "фортиссимо", к мощности звука при исполнении "пианиссимо" принято называть *динамическим диапазоном звучания музыкальных инструментов.*

Динамический диапазон музыкального источника звука зависит от вида исполнительского коллектива и характера исполнения.

Рассмотрим динамический диапазон отдельных источников звука. Под динамическим диапазоном отдельных музыкальных инструментов и ансамблей (различные по составу оркестры и хоры), а также голосов понимают отношение максимальных звуковых давлений $P_{макс}$, создаваемых данным источником, к минимальным $P_{мин}$, выраженное в децибелах:

$$D=20\lg\frac{P_{макс}}{P_{мин}}.$$

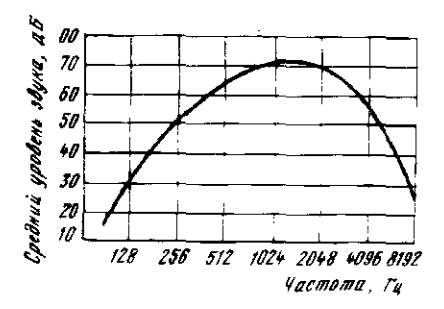


Рис. 7. Распределение уровня звука по частотному спектру для оркестра

На практике при определении динамического диапазона источника звука обычно оперируют только уровнями звукового давления, вычисляя или измеряя соответствующую их разность. Например, если максимальный уровень звучания оркестра составляет 90, а минимальный 50 дБ, то говорят, что динамический диапазон равен 90 — 50= = 40 дБ. При этом 90 и 50 дБ — это уровни звукового давления относительно нулевого акустического уровня ($2\cdot10^{-5}$ Па).

Динамический диапазон для данного источника звука — величина непостоянная. Она зависит от характера исполняемого произведения и от акустических условий помещения, в котором происходит исполнение. Реверберация расширяет динамический диапазон, который обычно достигает максимального значения в помещениях, имеющих большой объем и минимальное звукопоглощение. Почти у всех инструментов и человеческих голосов динамический диапазон неравномерен по регистрам звучания. Например, уровень громкости самого низкого звука на "форте" у вокалиста равен уровню самого высокого звука на "пиано".

В табл. 3 приведены усредненные динамические диапазоны звучания отдельных музыкальных инструментов, музыкальных ансамблей, а также речевых программ и пения.

Таблица 3

Источник звука	Уровень, дБ		Динамический диапазон, дБ
	минимальный	максимальный	
Гитара	40	55	15
Пение:			
женское	45	80	20...35
мужское	40	85	20...45
Мужской хор (30 чел.)	50	90	25...40
Квартет струнных инструментов	35	75	25...40
Орган	50	85	35
Виолончель, контрабас	35	70	35
Художественное чтение	30	80	40...50
Рояль	35	80	45
Небольшие вокальные и инструментальные ансамбли	40	85	45...55
Рок-группа	80	110	30
Эстрадный оркестр	45	100	45...55
Духовой оркестр	50	100	50
Большой симфонический оркестр	35	110	60...75

Динамический диапазон той или иной музыкальной программы выражается таким же образом, как и для отдельных источников звука, но максимальное звуковое давление отмечается при динамическом ff (фортиссимо) оттенке, а минимальное при pp (пианиссимо):

$$D=20\lg\frac{P_{ff}}{P_{pp}}.$$

Таблица 4

Звуковое давление, Па	Акустический уровень, дБ	Динамические оттенки громкости музыки и их обозначения	Словесная характеристика
20	120	Болевой порог	—
—	110	fff (форте-фортиссимо)	Громко (предельно)
2	100	ff (фортиссимо)	Очень громко
—	90	f (форте)	Громко
$2\cdot10^{-1}$	80	mf (меццо-форте)	Умеренно громко
—	70	pf (мецо-пиано)	Умеренно тихо
$2\cdot10^{-2}$	60	p (пиано)	Тихо
—	10	pp (пианиссимо)	Очень тихо
$2\cdot10^{-3}$	40	ppp (пиано-пианиссимо)	Тихо (предельно)
—	30	—	—
$2\cdot10^{-4}$	20	—	—
—	10	—	—
$2\cdot10^{-5}$	0	Порог слышимости	—

Наибольшей громкости, обозначаемой в нотах fff (форте-, фортиссимо), соответствует акустический уровень звукового давления примерно 110 дБ, а наименьшей громкости, обозначаемой в нотах ppp (пиано-пианиссимо), примерно 40 дБ. Связь между музыкальными обозначениями громкости, звуковым давлением и акустическими уровнями динамического диапазона приведена в табл. 4.

Следует отметить, что динамические оттенки исполнения в музыке относительны и их связь с соответствующими уровнями звукового давления до некоторой степени условна. Динамический диапазон той или иной музыкальной программы зависит от характера сочинения. Так, динамический диапазон классических произведений Гайдна, Моцарта, Вивальди редко превышает 30...35 дБ. Динамический диапазон эстрадной музыки обычно не превышает 40 дБ, а танцевальной и джазовой — всего около 20 дБ. Большинство произведений для оркестра русских народных инструментов также имеют небольшой динамический диапазон (25...30 дБ). Это справедливо и для духового оркестра. Однако максимальный уровень звучания духового оркестра в помещении может достигать достаточно большого уровня (до 110 дБ).

ЭФФЕКТ МАСКИРОВКИ

Субъективная оценка громкости зависит от условий, в которых звук воспринимается слушателем. В реальных условиях акустический сигнал не существует в абсолютной тишине. Одновременно с ним воздействуют на слух посторонние шумы, затрудняющие звуковое восприятие, маскирующие в определенной мере основной сигнал. Эффект маскировки чистого синусоидального тона посторонним шумом оценивается величиной, указывающей, на сколько децибел повышается порог слышимости маскируемого сигнала над порогом его восприятия в тишине.

Опыты по определению степени маскировки одного звукового сигнала другим показывают, что тон любой частоты маскируется более низкими тонами значительно эффективнее, чем более высокими. Например, если два камертона (1200 и 440 Гц) излучают звуки с одинаковой интенсивностью, то мы перестаем слышать первый тон, он замаскирован вторым (погасив вибрацию второго камертона, мы снова услышим первый).

Если одновременно существуют два сложных звуковых сигнала, состоящих из определенных спектров звуковых частот, то возникает эффект взаимной маскировки. При этом если основная энергия обоих сигналов лежит в одной и той же области диапазона звуковых частот, то эффект маскировки будет наиболее сильным. Так, при передаче оркестрового произведения из-за маскировки аккомпанементом партия солиста может стать плохо разборчивой, невнятной.

Достижение четкости или, как принято говорить, "прозрачности" звучания при звукопередаче оркестров или эстрадных ансамблей становится весьма трудным, если инструмент или отдельные группы инструментов оркестра играют в одном или близких регистрах одновременно.

Режиссер, производя запись оркестра, обязательно учитывает особенности маскировки. На репетициях он с помощью дирижера устанавливает баланс между силой звучания инструментов одной группы, а также между группами всего оркестра. Ясность основных мелодических линий и отдельных музыкальных партий достигается в этих случаях близким расположением микрофонов к исполнителям, умышленным выделением звукорежиссером наиболее важных в данном месте произведения инструментов и другими специальными приемами звукорежиссуры.

Явлению маскировки противостоит психофизиологическая способность органов слуха выделять из обшей массы звуков один или несколько, несущих наиболее важную информацию. Например, при звучании оркестра дирижер замечает малейшие неточности в исполнении партии на каком-либо инструменте.

Маскировка может существенно влиять на качество передачи сигнала. Четкое восприятие принимаемого звука возможно в том случае, если его интенсивность существенно превышает уровень составляющих помех, находящихся в той же полосе, что и принимаемый звук. При равномерной помехе превышение сигнала должно быть 10...15 дБ. Эта особенность слухового восприятия находит практическое применение, например, при оценке электроакустических характеристик носителей. Так, если отношение сигнал-шум аналоговой грампластинки 60 дБ, то динамический диапазон записанной программы может быть не более 45... 48 дБ.

ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛУХОВОГО ВОСПРИЯТИЯ

Слуховой аппарат, как и любая другая колебательная система, инерционен. При исчезновении звука слуховое ощущение исчезает не сразу, а постепенно, уменьшаясь до нуля. Время, в течение которого ощущение по уровню громкости уменьшается на 8...10 фон, называется *постоянной времени слуха*. Эта постоянная зависит от ряда обстоятельств, а также от параметров воспринимаемого звука. Если к слушателю приходят два коротких звуковых импульса, одинаковых по частотному составу и уровню, но один из них запаздывает, то они будут восприниматься слитно при запаздывании, не превышающем 50 мс. При больших интервалах запаздывания оба импульса воспринимаются раздельно, возникает эхо.

Эта особенность слуха учитывается при конструировании некоторых приборов обработки сигналов, например электронных линий задержки, ревербератов и др.

Следует отметить, что благодаря особому свойству слуха ощущение громкости кратковременного звукового импульса зависит не только от его уровня, но и от продол-

жительности воздействия импульса на ухо. Так, кратковременный звук, длящийся всего 10...12 мс, воспринимается ухом тише, чем звук такой же по уровню, но воздействующий на слух в течение, например 150...400 мс. Поэтому при прослушивании передачи громкость является результатом усреднения энергии звуковой волны в течение некоторого интервала. Кроме того, слух человека обладает инерцией, в частности, при восприятии нелинейных искажений он не ощущает таковых, если продолжительность звукового импульса меньше 10...20 мс. Именно поэтому в индикаторах уровня звукозаписывающей бытовой радиоэлектронной аппаратуры осуществляется усреднение мгновенных значений сигнала за промежуток, выбираемый в соответствии с временными характеристиками органов слуха.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ЗВУКЕ

Одной из важных способностей человека является возможность определять направление источника звука. Эта способность называется *бинауральным эффектом* и объясняется тем, что человек имеет два уха. Данные экспериментов показывают, откуда приходит звук: один для высокочастотных тонов, другой для низкочастотных.

До уха, обращенного к источнику, звук проходит более короткий по времени путь, чем до второго уха. Вследствие этого давление звуковых волн в ушных каналах различается по фазе и амплитуде. Амплитудные различия значительны только на высоких частотах, когда длина звуковой волны становится сравнимой с размерами головы. Когда разница в амплитудах превышает пороговое значение, равное 1 дБ, то кажется, что источник звука находится на той стороне, где амплитуда больше. Угол отклонения источника звука от средней линии (линии симметрии) приблизительно пропорционален логарифму отношения амплитуд.

Для определения направления источника звука с частотами ниже 1500...2000 Гц существенны фазовые различия. Человеку кажется, что звук приходит с той стороны, с которой волна, опережающая по фазе, достигает уха. Угол отклонения звука от средней линии пропорционален разности времени прихода звуковых волн к обоим ушам. Тренированный человек может заметить разность фаз меньше 3°, что составляет разницу во времени 100 мс.

Для источников звука, расположенных позади слушателей, точность локализации уменьшается и может составить примерно 12...15°, что объясняется экранирующим действием ушных раковин.

Способность определять направление звука в вертикальной плоскости развита значительно слабее (примерно в 10 раз). Эту особенность физиологии связывают с ориентацией органов слуха в горизонтальной плоскости.

Специфическая особенность пространственного восприятия звука человеком проявляется в том, что органы слуха способны ощущать суммарную, интегральную локализацию, создаваемую с помощью искусственных средств воздействия. Например, в помещении по фронту на расстоянии 2...3 м друг от друга установлены две АС. На таком же расстоянии от оси соединяющей системы строго по центру находится слушатель. В помещении через АС излучаются два одинаковых по фазе, частоте и интенсивности звука. В результате идентичности звуков, проходящих в орган слуха, человек не может их разделить, его ощущения дают представления о едином, кажущемся (виртуальном) источнике звука, который находится строго по центру на оси симметрии.

Если теперь уменьшить громкость одной АС, то кажущийся источник переместится в сторону более громко работающего громкоговорителя. Иллюзию перемещения

источника звука можно получить не только изменением уровня сигнала, но и искусственной задержкой одного звука относительно другого; в этом случае кажущийся источник сместится в сторону АС, излучающей сигнал с опережением.

Для иллюстрации интегральной локализации приведем пример. Расстояние между АС 2м, расстояние от фронтальной линии до слушателя 2 м; для того чтобы источник как бы сместился на 40 см влево или вправо, необходимо подать два сигнала с разностью по уровню интенсивности в 5 дБ или с временным запаздыванием в 0,3 мс. При разности уровней в 10 дБ или задержке по времени 0,6 мс источник "переместится" на 70 см от центра.

Таким образом, если изменять создаваемое АС звуковое давление, то возникает иллюзия перемещения источника звука. Это явление называется *суммарной локализацией*. Для создания суммарной локализации применяется двухканальная стереофоническая система звукопередачи.

В первичном помещении устанавливаются два микрофона, каждый из которых работает на свой канал. Во вторичном — два громкоговорителя. Микрофоны располагаются на определенном расстоянии друг от друга по линии, параллельной размещению излучателя звука. При перемещении излучателя звука на микрофон будет действовать разное звуковое давление и время прихода звуковой волны будет различно из-за неодинакового расстояния между излучателем звука и микрофонами. Эта разница и создает во вторичном помещении эффект суммарной локализации, в результате чего кажущийся источник локализуется в определенной точке пространства, находящейся между двумя громкоговорителями.

Следует сказать о биноуральной системе звукопередачи. При использовании этой системы, называемой системой "искусственной головы", в первичном помещении размещают два отдельных микрофона, располагая их на расстоянии друг от друга, равном расстоянию между ушами человека. Каждый из микрофонов имеет независимый канал звукопередачи, на выходе которого во вторичном помещении включены телефоны для левого и правого уха. При идентичности каналов звукопередачи такая система точно передает бинауральный эффект, создаваемый около ушей "искусственной головы" в первичном помещении. Наличие головных телефонов и необходимость пользования ими в течение длительного времени является недостатком.

Орган слуха определяет расстояние до источника звука по ряду косвенных признаков и с некоторыми погрешностями. В зависимости от того, мало или велико расстояние до источника сигнала, субъективная его оценка меняется под воздействием различных факторов. Было установлено, что если определяемые расстояния невелики (до 3 м), то их субъективная оценка почти линейно связана с изменением громкости перемещающегося по глубине источника звука. Дополнительным фактором для сложного сигнала является его тембр, который становится все более "тяжелым" по мере приближения источника к слушателю. Это связано со все большим усилением обертонов низкого по сравнению с обертонами высокого регистра, вызванным происходящим при этом повышением уровня громкости.

Для средних расстояний (3...10 м) удаление источника от слушателя будет сопровождаться пропорциональным уменьшением громкости, причем это изменение будет одинаково относиться к основной частоте и к гармоническим составляющим. В результате происходит относительное усиление высокочастотной части спектра и тембр становится более ярким.

С ростом расстояния потери энергии в воздухе будут расти пропорционально квадрату частоты. Увеличенная потеря обертонов высокого регистра приведет к снижению тембральной яркости. Таким образом, субъективная оценка расстояний связана с изменением его громкости и тембра.

В условиях закрытого помещения сигналы первых отражений, запаздывающие относительно прямого на 20...40 мс, воспринимаются органом слуха как приходящие с различных направлений. Вместе с этим все большее их запаздывание создает впечатление о значительном удалении точек, от которых происходят эти отражения. Таким образом, по времени запаздывания можно судить об относительной удаленности вторичных источников или, что то же, о размерах помещения.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СУБЪЕКТИВНОГО ВОСПРИЯТИЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

Стереофоническая система звукопередачи имеет ряд существенных особенностей по сравнению с обычной монофонической.

Качество, отличающее стереофоническое звучание, объемность, т.е. естественную акустическую перспективу, можно оценить с помощью некоторых дополнительных показателей, не имеющих смысла при монофонической технике передачи звука. К таким дополнительным показателям следует отнести: угол слышимости, т.е. угол, под которым слушатель воспринимает звуковую стереофоническую картину; стереофоническую разрешающую способность, т.е. определяемую субъективно локализацию отдельных элементов звукового образа в определенных точках пространства в пределах угла слышимости; акустическую атмосферу, т.е. эффект возникновения у слушателя ощущения присутствия в первичном помещении, где происходит передаваемое звуковое событие.

Глава 2

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КАЧЕСТВО ЗВУЧАНИЯ

Качество звучания обычно оценивается искажениями, вносимыми элементами звукового тракта и аппаратуры, а также акустическими свойствами помещений, в которых размещены устройства воспроизведения звука.

Искажения, возникающие в результате изменения коэффициента передачи радиотехнических устройств от частоты, называются *линейными*. Существуют и *нелинейные* искажения, возникающие в основном из-за нелинейности характеристик усилительных элементов и кривых намагничивания стальных магнитопроводов выходных трансформаторов и магнитной ленты. Все искажения, вносимые радиотехническими элементами звукового тракта и проявляющиеся в изменении спектра звуковых частот, обязательно изменяют качество звучания. Несколько иное влияние на окраску звука оказывают искажения, обусловленные свойствами акустических систем и помещений, в которых проводится прослушивание.

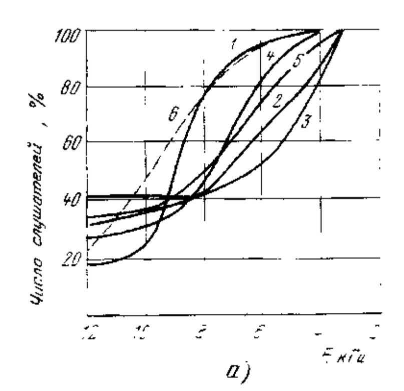
Рассмотрим, как изменяют содержание звука (звукового материала) различные искажения, вносимые звуковым трактом, громкоговорителем, а также влияние акустических свойств помещений. Под термином "звуковой материал", часто применяемым в

литературе, понимается звук любого отдельно взятого источника (скрипки, голоса певца и т. д.) или суммарный звук, создаваемый совокупностью звуковых источников (симфонический оркестр, хор и т. д.).

ЧАСТОТНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ

Различный характер восприятия частотных искажений при прослушивании звуковых передач можно объяснить следующим образом. Как известно, окраска звука характеризуется числом частотных составляющих и распределением их амплитуд по спектру, а спектр слышимых человеком звуков, как указывалось ранее, занимает диапазон частот 20... 20000 Гц. При прохождении через звуковой тракт такого сложного по структуре сигнала из-за различия коэффициентов передачи на разных частотах нарушается соотношение амплитуд отдельных гармонических составляющих и, как следствие, изменяется тембр звука. Значительные искажения в частотной характеристике, в свою очередь, приводят к изменению качества звучания. Спад или ограничение частот снизу делает звук резким, дребезжащим, а при спаде или ограничении частотной характеристики сверху звук становится приглушенным и неразборчивым.

Искажения различного звукового материала при ограничении частот как сверху, так и снизу различные люди воспринимают неодинаково. Учитывая это, пользуются понятием "заметность", означающим отношение общего числа слушателей, выраженное в процентах, к числу слушателей, которые заметили те или иные искажения звукового материала. На рис. 8 по оси ординат показано число слушателей (выраженное в процентах), замечающих искажения. Из рисунка видно, что даже существенные ограничения частот сверху при воспроизведении звуковых передач, насыщенных высокими тонами, ощущаются незначительно. Это объясняется тем, что на долю высокочастотных составляющих звука приходится меньшая часть энергии по сравнению с частью энергии, содержащейся в частотных составляющих средней области звукового спектра. Так, ограничение частотного диапазона сверху до 7 кГц при воспроизведении женской речи замечают около 80 % слушателей (резкий спад энергии в спектральных составляющих начинается на частотах 8,5...9 кГц). В то же время ограничение акусти-



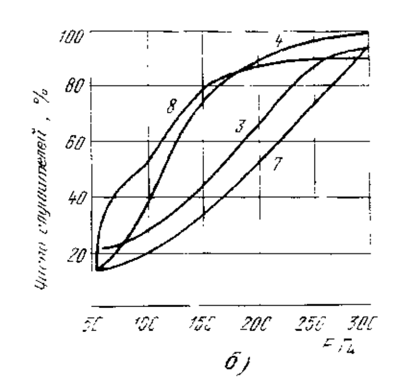


Рис. 8. Заметность ограничения полосы пропускания сверху (*а*) и снизу (*б*) при воспроизведении различного звукового материала:

1 — духовой оркестр; 2 — скрипка; 3 — рояль; 4 — симфонический оркестр; 5 — тенор; 6 — женская речь; 7 — пение (бас); 8 — орган

ческого спектра сверху до 8 кГц при воспроизведении звуков скрипки замечают только 35...40 % слушателей (резкий спад энергии в спектральных составляющих звуков скрипки начинает проявляться с частот 4...5 кГц) и поэтому только весьма значительное ограничение, достигающее 5,5...4 кГц, различают до 80 % слушателей. Даже весьма незначительные ограничения звукового спектра снизу, и особенно при воспроизведении звуковых передач, насыщенных низкими тонами, замечает большее число слушателей (см. рис. 8, *б*). Так, ограничение полосы пропускания частотой 100 Гц при воспроизведении органной музыки замечают 50 % слушателей, 150 Гц — 80 % и 300 Гц — почти 100 % слушателей. На рис. 9 приведены кривые, характеризующие уровень заметности амплитудно-частотных искажений при спадах частотной характеристики на краях диапазона. Наибольшая заметность искажения звука в этом случае наблюдается, когда спады достигают 8...10 дБ на частотах примерно 4000 и 10000 Гц. Для спадов на низкочастотном краю диапазона заметность искажений несколько ниже. Наиболее нежелательны искажения, проявляющиеся в виде широких пиков и провалов частотной характеристики, особенно в области максимальной чувствительности уха, т. е. в диапазоне 800...5000 Гц. Широкие пики и провалы (50 %) в этом диапазоне, даже если их уровень не превышает 5 дБ, приводят к значительным искажениям звука, которые замечает подавляющее большинство слушателей. И наоборот, острые пики и провалы (15...20 %), а также плавные и крутые спады в области очень низких (меньше 100 Гц) и очень высоких (больше 15000 Гц) частот практически неощутимы даже в тех случаях, когда их уровень достигает 15...20 дБ. Обычно частотные искажения начинают ощущать, когда их уровень (изменение амплитуд в частотном спектре звука) превышает 30...40 % (до 3 дБ). Поэтому в аппаратуре высококачественного звучания амплитудно-частотные искажения не должны быть больше указанного уровня.

Количественно частотные искажения, обусловленные элементами звукового тракта, оценивают неравномерностью амплитудно-частотной характеристики. В звуковой технике неравномерность частотной характеристики принято определять как отношение коэффициентов передачи на частотах, находящихся в пределах звукового диапазона, к коэффициенту передачи на частоте 1000 Гц. Коэффициенты передачи в исследуемом диапазоне частот при одинаковых уровнях входных сигналов изменяются так же, как напряжения на выходе звукового тракта. Таким образом, с помощью амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) по изменению выходного напряжения в интересуемом диапазоне частот одновременно могут быть определены область, характер и частотные искажения.

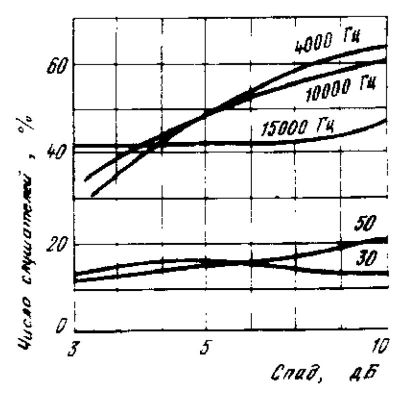


Рис. 9. Заметность амплитудно-частотных искажений при спадах частотной характеристики

В силу физиологических особенностей органов слуха на краях звукового диапазона допускается несколько повышенный уровень частотных искажений. Например, частотные искажения аппаратуры высококачественного воспроизведения в области средних частот звукового диапазона не должны превышать 2 дБ, в то время как на краях диапазона допустимый уровень частотных искажений может достигать 6 дБ.

Значительное влияние на качество звучания оказывает не только неравномерность частотной характеристики, но и диапазон частот, воспроизводимых звуковым трактом. С возрастом слух человека притупляется, и, как указывалось, верхняя граница слуха у людей срадиего возраста находится в области 15000 Гц. В отношении нижней границы частот можно отметить, что человеческие голоса не имеют частотных составляющих ниже 70 Гц. Что же касается музыки, то ни один инструмент, кроме органа, не имеет основных тонов с частотами ниже 40 Гц. Поэтому нижняя граница звукового диапазона частот 30 Гц (с некоторым запасом) может считаться вполне достаточной.

Таким образом, высокое качество воспроизведения будет обеспечено в том случае, если звуковой тракт имеет равномерную характеристику в диапазоне частот 30...15000 Гц. Однако на качество звучания влияют и нелинейные искажения, а также оно зависит от свойств АС и помещений (влияние реверберации, поглощения и т. д.), в которых размещаются устройства воспроизведения звука.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ

Основной причиной возникновения нелинейных искажений является применение радиотехнических элементов, имеющих нелинейную зависимость между током и напряжением, током и намагниченностью и т. п. (радиолампы, транзисторы, диоды, громкоговорители, трансформаторы и т. д.). Поэтому из-за нелинейности в звуковом тракте даже при одном звуковом тоне может возникать целая группа гармоник, частоты которых кратны частоте основного тона. Еще более сложная картина наблюдается в тех случаях, когда звуковой материал представляет совокупность колебаний различных частот.

В результате взаимодействия гармоник основных тонов возникают колебания с суммарными и разностными частотами и общее число частотных составляющих в тракте сильно возрастает. Частоты звуковых колебаний, равные сумме или разности основных тонов, называются *комбинационными частотами*. Звуковые колебания, обусловленные комбинационными частотами, могут находиться в любой области звукового диапазона, в том числе и в области наибольшей чувствительности уха (800...5000 Гц). Следует отметить, что ухо обладает весьма большой чувствительностью к частотам, возникающим из-за нелинейных искажений. Вследствие этого окраска звука, имеющего в своем составе колебания комбинационных частот, производит неприятное впечатление.

ПОМЕХИ

Не менее значительное влияние на качество звучания оказывают различные по характеру помехи, основными источниками которых являются собственные шумы радиотехнических элементов (ламп, транзисторов и резисторов), а также самые разнообразные внешние источники. Шум любого вида сокращает динамический диапазон

звукового тракта и существенно отражается на качестве звучания. Динамический диапазон тракта D определяется отношением напряжения максимального неискаженного сигнала к напряжению шума, дБ:

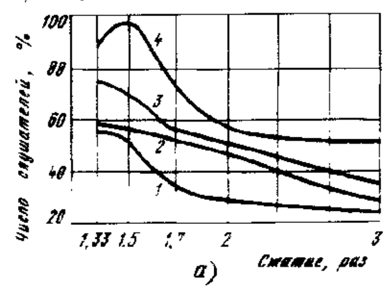
$$D = 20 \lg \frac{U_{\text{макс сигн}}}{U_{\text{ш}}}.$$

Из этого выражения видно, что динамический диапазон сильно зависит от уровня шумов, воздействующих на звуковой тракт.

К основным методам борьбы с помехами и шумами можно отнести введение фвльтров, применение экранирования соединительных кабелей, выбор наиболее рациональных схем входных цепей, а также отдельных радиотехнических элементов и узлов, обеспечивающих наименьший уровень собственных шумов.

Полный динамический диапазон музыки, достигающий 60...70 дБ, при хорошем перекрытии помех пропустить через звуковой тракт сложно. Поэтому в реальные устройства воспроизведения звука приходится вводить различные системы, позволяющие осуществлять сжатие или ограничение динамического диапазона звука. Как сжатие, так и ограничение приводят к перераспределению энергии между спектральными составляющими и тем самым вызывают искажения звука. С другой стороны, сжатие или ограничение динамического диапазона оказывает некоторое влияние на уровень помех, которые практически всегда присутствуют в любом звуковом тракте. В связи с этим представляется интересным рассмотреть вопрос о том, как будут восприниматься искажения звука, обусловленные ограничением или сжатием динамического диапазона при воздействии на звуковой тракт некоторых видов помех различных уровней.

На рис. 10 приведены графики, показывающие, какому воспроизведению звука — искаженному или неискаженному — отдается предпочтение большинством слушателей, если в звуковом канале вместе с полезным сигналом присутствуют те или иные помехи. По оси абсцисс на этих графиках отложены значения искажений динамического диапазона (сжатие), а по оси ординат — процент слушателей, которые предпочли искаженное воспроизведение (сжатое) неискаженному. Как видим, при малых уровнях помех (—50 дБ шумы и —40 дБ атмосферные помехи) примерно половина слушателей предпочитает безыскаженное воспроизведение с полным динамическим диапазоном. Как только помехи достигают значительного уровня (—40 дБ шумы и —30 дБ атмосферные помехи), большинство слушателей предпочитают несколько искаженное (сжатое) воспроизведение. Это объясняется, очевидно, тем, что при сжатии динамического



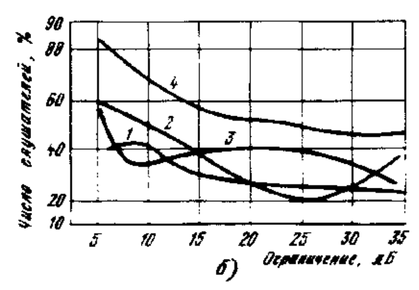


Рис. 10. Предпочтение, отдаваемое слушателями искажениям типа сжатие (*а*) и ограничение (*б*):
1, 2 — шум 50 и 40 дБ соответственно; 3, 4 — атмосферные помехи 40 и 30 дБ соответственно

диапазона повышается уровень перекрытия помехи полезным сигналом. Но как только сжатие становится слишком большим, резко ухудшается качество звучания, звук становится неприятным. Именно поэтому для высококачественного воспроизведения звука в условиях помех выбирают оптимальное значение сжатия динамического диапазона, которое позволяет получить наибольший выигрыш в отношении сигнал-помеха. Такие условия создаются при сжатии в 1,5 раза.

Многолетний опыт эксплуатации различных звуковоспроизводящих систем показал, что наиболее ощутимыми помехами в звуковом тракте являются фоны с частотами 50, 100, 150, 300 и 600 Гц, а также шум с равномерным спектром. Оказывается, что различимость их слушателями практически очень мало зависит от условий воспроизведения, т. е. от ширины полосы пропускания частот.

Наибольшей слышимостью обладают помехи в виде равномерного шума и фона с частотами 50, 100 и 150 Гц и менее ощутимы помехи фона с частотами 300 и 600 Гц. Это объясняется тем, что в области частот 200...3000 Гц сосредоточена основная ее часть. Поэтому помехи в виде фона с частотами 300 и 600 Гц в значительной степени "маскируются" полезным сигналом.

Спектр шума из-за его непрерывности и равномерности имеет одинаковую интенсивность в области низких, средних и высоких частот. Слышимость же высокочастотных составляющих спектра значительно выше слышимости низкочастотных фонов. Это происходит из-за малой энергии полезного сигнала в этой части звукового диапазона, а чувствительность уха к средним и высоким частотам, как известно, велика.

О РОЛИ АКУСТИКИ ПОМЕЩЕНИЯ ПРОСЛУШИВАНИЯ

Красочность звучания достигается не только с помощью аппаратуры воспроизведения звука. Даже при достаточно хорошей аппаратуре качество звучания может оказаться низким, если помещение, предназначенное для прослушивания, не обладает определенными свойствами. Известно, что в закрытом помещении возникает явление послезвучания, называемое *реверберацией*. Воздействуя на органы слуха, реверберация (в зависимости от ее длительности) может улучшать или ухудшать качество звучания.

Человек, находящийся в помещении, воспринимает не только прямые звуковые волны, создаваемые непосредственно источником звука, но и волны, отраженные потолком и стенами помещения. Отраженные волны слышны еще некоторое время после прекращения действия источника звука.

Иногда считают, что отраженные сигналы играют только отрицательную роль, создавая помехи восприятию основного сигнала. Однако такое представление неправильно. Определенная часть энергии начальных отраженных эхосигналов, достигая ушей человека с малыми задержками, усиливает основной сигнал и обогащает его звучание. Напротив, более поздние отраженные эхосигналы, время задержки которых превышает некоторое критическое значение, образуют звуковой фон, затрудняющий восприятие основного сигнала.

Помещение прослушивания не должно иметь большое время реверберации (более 0,5 с). Жилые комнаты, как правило, имеют малое время реверберации в силу ограниченности своих размеров и наличия звукопоглощающих поверхностей, мягкой мебели, ковров, занавесок и т. п.

Различные по характеру и свойствам преграды характеризуются *коэффициентом поглощения звука*, который представляет собой отношение поглощенной энергии к полной энергии падающей звуковой волны. Коэффициенты поглощения звука для некоторых материалов на различных частотах приведены в табл. 5.

Таблица 5

Материал	Коэффициент поглощения звука (на различных частотах), Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
Ковер	0,09	0,07	0,20	0,35	0,43	0,44
Штукатурка на деревянной основе	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03

Для повышения звукопоглощающих свойств ковра (и снижения шумов в жилом помещении) ковер желательно вешать не вплотную к стене, а с зазором 30...50 мм).

ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА СТЕРЕОФОНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Важнейшими характеристиками стереофонической системы в целом (от микрофонов в студии до громкоговорителей в жилом помещении), определяющими качество восприятия стереопрограмм, являются: переходное затухание, оценивающее проникновение сигнала из одного канала стереопары в другой, иначе говоря, степень их разделения; разбаланс амплитудных и фазовых характеристик каналов стереопары; уровень нелинейных искажений, шумов и помех в каждом из каналов и наличие внятных переходных помех, проникающих в каналы стереопары из других трактов. Переходное затухание между каналами стереопары на частотах ниже 150 Гц практически не играет роли, так как эта область частот не влияет на локализацию кажущихся звуковых образов. На частотах 8000...10000 Гц разделение стереоканалов не должно быть менее 20 дБ и лишь на самых верхних частотах (более 10000 Гц), где суммарная спектральная мощность музыкальных инструментов мала, допустимо уменьшение переходного затухания между каналами.

Если переходное затухание в области средних частот (300...8000 Гц) составляет 20 дБ, то квалифицированные слушатели уверенно отмечают появление пространственных искажений в стереопанораме, отмеченное прежде всего как ее сужение и как уменьшение объемности звучания. Существенное влияние на качество восприятия пространственных характеристик стереопанорамы оказывают также возникающие при передаче разбаланс уровней и фаз сигналов Л и П. Желательно, чтобы стереоканалы имели идентичные АЧХ и фазочастотные (ФЧХ) характеристики, а также одинаковые их отклонения от номинальных. Наиболее высокие требования предъявляют к области средних частот (300...5000 Гц), где сосредоточен максимум энергии музыкальных инструментов, речи, наиболее высока чувствительность слуха. В этой области допустимый разбаланс АЧХ не должен превышать 1,5...2,0 дБ.

Частотно-зависимый разбаланс АЧХ каналов, превышающий допустимые пределы, сопровождается увеличением протяженности кажущихся источников звука; ухудшением четкости и прозрачности звучания.

Все перечисленные выше характеристики особенно важны для неискаженной передачи пространственной информации, но не являются полностью определяющими качество звучания. При стереопередаче допустимый уровень шумов и помех в каждом канале не должен превышать —60 дБ, а полоса воспроизводимых частот не должна быть менее 30...15000 Гц. Однако расширение полосы частот свыше 15000 Гц отчетливо замечают по крайней мере молодые слушатели и отсутствие этих частот вызывает ухудшение качества восприятия. Эталонным в этом случае является канал с полосой частот 20...20000 Гц. Что же касается нелинейных искажений, то коэффициент гармоник каждого канала в области средних частот (125...5000 Гц) не должен превышать десятых долей процента.

Глава 3

НОСИТЕЛИ ЗВУКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

К носителям звуковой информации, используемой в быту, относятся магнитные ленты и грампластинки (обычные винилитовые и цифровые — компакт-диски).

МАГНИТНЫЕ ЛЕНТЫ

Качество записи и воспроизведение любого звукозаписывающего аппарата значительно зависит от магнитной ленты.

Совершенствование магнитных лент осуществляется в основном улучшением свойств материалов магнитного слоя, улучшением физико-механических параметров и внедрением прогрессивных технологических методов производства.

В бытовой звукозаписи используют две разновидности магнитных лент — шириной 6,3 мм для катушечных и шириной 3,81 мм для кассетных магнитофонов. Катушечные ленты рассчитаны на скорость записи — воспроизведения 19,05 и 9,53 см/с, кассетные на— 4,75 см/с. Ширина, толщина лент и их предельные отклонения приведены в табл. 6.

Таблица 6

Ширина, мм		Толщина, мкм		Щирина, мм		Толщина, мкм	
Номинальное значение	Предельное отклонение	Номинальное значение	Предельное значение	Номинальное значение	Предельное значение	Номинальное значение	Предельное значение
6,30	-0,06	37	—6	3,81	—0,05	18	—3
		27	—5			12	+1 —2

Классификация магнитных лент по общей толщине и их условные наименования в зависимости от этого параметра приведены в табл. 7.

Таблица 7

Наименование ленты по длительности записи — воспроизведения	Общая толщина, мкм	Толщина рабочего слоя, мкм	Ориентировочное количество ленты в упаковке, м	Длительность записи и воспроизведения, мин
Нормальная	55	14	360*	30 (в одну сторону при скорости 19,05 см/с)
Долгоиграющая	37	10	550*	45 -"-
Двойная	27	10	750*	60 -"-
Тройная	18	6	85**	60 (полная)
Четырехкратная	12	4	130**	90 -"-
Шестикратная	9	3	170**	120 -"-

*Для катушки № 18.

**В стандартной компакт-кассете.

Стандартом ГОСТ 23963-86 предусмотрены простые и наглядные условные обозначения для бытовых магнитных лент — исключены элементы, указывающие назна-

чение ленты, материал основы. Все современные ленты имеют полиэтилентерефталатную (лавсановую) основу. Пример обозначения ленты для бытовой звукозаписи шириной 6,30 мм, толщиной 37 мкм, шестнадцатой разработки: лента типа Б-3716 (прежнее обозначение А4416-6Б).

В соответствии с рекомендациями МЭК магнитные ленты для компакт-кассет подразделяются на четыре типа * в зависимости от требуемых значений оптимального тока высокочастотного подмагничивания (ВЧП) и коррекции АЧХ магнитофона:

МЭК I — ленты с рабочим слоем из оксида железа (Fe_2O_3) с коэрцитивной силой примерно 25 кА/м;

МЭК II — ленты с рабочим слоем из диоксида хрома (CrO_2) с коэрцитивной силой 38 кА/м;

МЭК III — ленты с двумя рабочими слоями: слой с оксидом железа + слой с диоксидом хрома (FeCr),

МЭК IV — ленты с рабочим слоем из металлического порошка железа (Metal) с коэрцитивной силой 80 кА/м.

Приведенная классификация условна, для каждого типа указан рабочий слой лишь типичный для данной группы лент. Однако в реальности уже существуют разновидности лент с оксидом железа, модифицированным кобальтом, а также ленты с двумя рабочими слоями, относящиеся к типу МЭК II, и ленты с двумя рабочими слоями, относящиеся к типу МЭК I. Например, под маркой МЭК II фирма ТДК Maxell (Япония) и некоторые другие фирмы производят "хромоподобные" магнитные ленты с рабочим слоем из порошка гамма-окиси железа, модифицированного кобальтом. Такие ленты характеризуются большей отдачей на высших частотах, требуют меньшего (на 2...3 дБ) тока подмагничивания, чем ленты на двуокиси хрома, что позволяет использовать массовые пермаллоевые головки, не опасаясь насыщения их магнитопровода.

Следует отдельно остановиться на лентах типа МЭК IV. Благодаря высоким качественным показателям "металлических" лент выражение "высокая верность" стало применимым к кассетной звукозаписи уже без каких-либо дополнительных оговорок.

Чтобы лучше понять, какие преимущества дает использование таких лент, рассмотрим процесс магнитной записи. Важнейшие магнитные свойства ленты можно определить по кривым намагничивания рабочего слоя ленты. Эти характеристики имеют вид петель гистерезиса. На рис. 11 изображены кривые намагничивания, относящиеся к трем различным составам рабочего слоя ленты — на основе Fe_2O_3 (1), CrO_2 (2) и (3) — металлический порошок. По оси абсцисс отложена напряженность магнитного поля (H), которая пропорциональна току в записывающей головке, а по оси ординат — индукция в материале (B). Когда напряженность магнитного поля возрастает в положительном направлении, магнитная индукция B также возрастает, причем сначала довольно резко, затем кривая намагничивания становится все более пологой и, наконец, достигает области, в которой дальнейшее увеличение напряженности поля практически не вызывает увеличения индукции в материале. Наступает магнитное насыщение. При уменьшении напряженности намагничивающего поля индукция тоже начинает уменьшаться, когда H спадает до нуля, материал остается намагниченным. Остаточная индукция является самой важной характеристикой магнитного материала ленты. Чем выше этот показатель, тем больше будет максимальный остаточный магнитный поток ленты и, следовательно, больше, при прочих равных условиях, максимально достижимое отношение сигнал-шум.

* Ленты для бытовых катушечных магнитофонов с рабочим слоем из окислов железа не получили такого деления на типы, и свойства их определяются в зависимости от скорости, при которой они используются.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что "металлическая" лента способна обеспечить двукратный выигрыш в уровне записанного сигнала по сравнению с "хромдиоксидной" и "феррооксидной" лентами. Повышенная остаточная магнитная индукция металлического порошка позволяет с большей свободой варьировать толщину рабочего слоя ленты, добиваясь оптимального сочетания высокого остаточного уровня записи с расширенным частотным диапазоном. В связи с большой коэрцитивной силой "металлических" лент предъявляются более жесткие требования к материалам для магнитных головок. При процессе стирания установлено, что амплитуда поля в зазоре стирающей головки должна приблизительно в 3 раза превышать напряженность насыщения. Поэтому для полного выявления преимуществ высокоэрцитивной "металлической" ленты требуются как стирающие, так и записывающие магнитные головки из материалов с повышенной индукцией насыщения. Естественно, эти головки дают прекрасные результаты и на обычных лентах.

Следует отметить, что фонограммы с "металлической" ленты можно воспроизводить на магнитофонах с обычными головками, так как специфические требования к этим лентам возникают только в процессе записи. При этом не потребуется даже переключения цепи коррекции, так как постоянные времени частотной характеристики остаточного магнитного потока для "металлической" ленты установлены такими же, как и для "хромдиоксидной": 3180 и 70 мкс.

Отечественная промышленность выпускает ленты двух типов: МЭК I и МЭК II. Предусмотрен выпуск ленты типа МЭК IV. Пример обозначения: лента типа МЭК I, ширина 3,81 мм, толщина 18 мкм, семнадцатой разработки — лента Б-1817 (прежнее обозначение А4217-3Б).

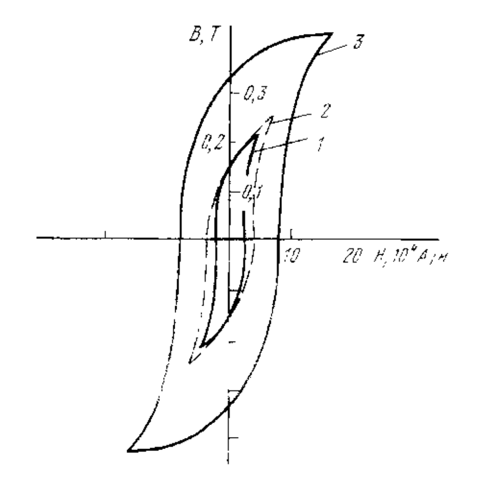


Рис. 11. Кривые намагничивания рабочих материалов:
1 — Fe2O3; 2 — CrO; 3 — Me

Магнитные ленты типа МЭК I обеспечивают выполнение записи и воспроизведение фонограмм при соответствующей коррекции АЧХ с верхней граничной частотой 14000 Гц, МЭК II — 18000 Гц, МЭК III и МЭК IV — 20000 Гц.

В табл. 8 указаны наименования магнитных лент, выпускаемых заводами в настоящее время, и область применения этих лент в звукозаписи.

Таблица 8

Наименование ленты	Ширина, мм	Общая толщина, мкм	Толщина рабочего слоя, мкм	Рекомендуемая область применения	Обозначение компакт-кассет	Классификация ленты по МЭК
Б-3709	6,3	37	10...12	Катушечные магнитофоны 3-й и 4-й групп сложности	—	—
Б-3711	6,3	37	10...12	То же, до 2-й группы сложности включительно	—	—
Б-3715	6,3	37	10...12	То же, до 1-й группы сложности включительно	—	—
Б-3716	6,3	37	10...12	То же, до 0-й группы сложности включительно		
Б-1805	3,81	18	6	Кассетные магнитофоны 3-й и 4-й групп сложности	МК60-2	МЭК I
Б-1807	3,81	18	6	То же до 1-й группы сложности включительно	МК60-5	МЭК I
Б-1817	3,81	18	6	То же до 0-й группы сложности включительно	МК60-6	МЭК I
Б1-1822	3,81	18	6	-"-	МК60-7	МЭК II

Отечественной промышленностью для катушечных магнитофонов выпускаются так называемые долгоиграющие ленты, а для кассетных — тройные (по сравнению с нормальной) ленты. Последние обеспечивают длительность записи и воспроизведения для нормализованной компакт-кассеты в течение 60 мин. Готовятся к выпуску четырехкратные магнитные ленты, обеспечивающие продолжительность работы 90 мин (для компакт-кассет МК-90).

Качество записи и воспроизведения в значительной степени зависят от электроакустических параметров магнитных лент. Основными из них являются: относительная чувствительность и ее максимальный уровень, отношение сигнал-шум, отношение сигнал-эхо, стираемость.

Очень важны значения тока оптимального подмагничивания для магнитных лент каждого конкретного типа, так как оно во многом определяет возможность получения высококачественной записи при работе с конкретным типом магнитофона.

Электроакустические параметры катушечных и кассетных лент, нормированные стандартом, приведены в табл. 9.

Таблица 9

Параметр	Норма для лент				
	толщиной, мм		типа		
	37	27	МЭК I	МЭК II	МЭК IV
Относительная чувствительность, дБ, не менее, на частоте:					
315 Гц	0		0	0	0
10000 Гц	—		0	0	0
12500 Гц	0		0	0	0
16000 Гц	—		0	—	—
18000 Гц	—		—	0	—
20000 Гц	—		—	—	0
Неравиомерность чувствительности, дБ, не более	± 0,6				
Максимвльный уровень записи, дБ, не менее	6,5		4,3	4,4	4,8
Предельный уровень записи на частоте 10000 Гц, дБ, не менее	—4,5		—7,7	—7,6	—1,2
Отношение сигнал-шум, дБ, не менее	64	63	57	61	62
Отношение сигнал-эхо, дБ, не менее	51	50	46	46	—
Стираемость, дБ, не менее	70		70	68	—

Напомним, что чувствительность ленты характеризуется степенью ее намагниченности, которая определяется как отношение остаточного магнитного потока к низкочастотному полю головки, создаваемому током записи, т. е. чем выше чувствительность ленты, тем меньшим коэффициентом усиления может обладать усилитель записи.

Относительная чувствительность ленты — отношение чувствительности испытуемой ленты к чувствительности первичной типовой ленты.

Первичные типовые ленты — это наиболее оптимальные по свойствам партии магнитных лент, выпускаемые ведущими фирмами-изготовителями. Они являются как бы эталоном, с которым сравнивают параметры испытуемых лент при их оценке. Периодически эти ленты обновляют, чтобы они соответствовали уровню магнитофонов.

Типовые ленты, установленные МЭК, приведены в табл. 10.

Таблица 10

Первичная типовая лента	Фирма-изготовитель/страна	Тип ленты	Ширина ленты, мм	Скорость, см/с	Максимальный уровень записи, дБ	Предельный уровень записи, дБ
C264Z	BASF (ФРГ)	—	6,30	9,53	6,5	—4,5
R723DG	BASF (ФРГ)	МЭК I			4,3	—7,7
S4592A	BASF (ФРГ)	МЭК II	3,81	4,76	4,4	—7,6
E912 BH	TDK (Япония)	МЭК IV			4,8	—1,2

Неравномерность чувствительности характеризуется колебаниями чувствительности по длине ленты и, как правило, имеет случайный характер в основном из-за неравномерности толщины рабочего слоя ленты и концентрации в нем порошка. Увеличение неравномерности чувствительности может быть вызвано пылью, образовавшимися продуктами износа ленты и магнитопроводов магнитных головок на поверхности рабочего слоя ленты. Нелинейные искажения, вносимые магнитной лентой, являются основной частью суммарных нелинейных искажений, возникающих в канале магнитной записи. Определяются они нечетными гармониками, причем основную роль играет третья гармоника, поэтому практически нелинейные искажения ленты оцениваются по этой гармонике и иногда называются *гармоническими*. Нелинейные искажения зависят от магнитных свойств рабочего слоя ленты: они тем меньше, чем больше остаточная намагниченность. "Металлические" ленты обладают наименьшими искажениями, и коэффициенты гармоники (3-й) K_3=0,3 ... 0,8 %, ленты на основе окислов железа K_3 =3 ... 5 %.

Максимальный уровень записи позволяет судить о перегрузочной способности ленты. Предельный уровень записи характеризует перегрузочную способность ленты на высоких частотах. Максимальный уровень на опорной частоте определяют как отношение уровня, соответствующего K_3=3 %, к номинальному уровню (250 нВб/м). Предельный уровень на частоте 10 кГц определяют так же, как отношение максимального уровня к номинальному уровню без учета нелинейных искажений.

Качество записи в значительной мере зависит от величины шума ленты. Чем больше отношение сигнал-шум, тем большим динамическим диапазоном обладает запись, тем ближе она к реальному звучанию.

Относительный уровень шума паузы определяют при воспроизведении как отношение напряжения шума паузы ленты к напряжению, соответствующему номинальному уровню записи. *Шум паузы* — это шум ленты, которая была размагничена головкой стирания и подвергнута воздействию магнитного поля ВЧП головки записи, т.е. это шум, который воспроизводится в паузе, например между записанными на ленте словами или музыкальными произведениями. Измеряют или пиковые значения напряжения шума (профессиональная звукотехника), или эффективные значения (бытовая звукотехника) с соответствующим фильтром.

Относительный уровень шума намагниченной ленты служит для оценки так называемого модуляционного шума-помехи, который сопровождает записанный сигнал и растет с увеличением его амплитуды. Модуляционный шум, т.е. шум намагниченной ленты, происходит из-за неравномерности внутренней структуры рабочего слоя ленты и колебаний скорости ее движения. Он характеризуется возникновением модуляционных "шумовых" полос, которые при воспроизведении прослушиваются как шорохи в записанном звуке.

Отношение сигнал-эхо характеризует влияние паразитной намагниченности соседних витков рулона друг на друга (копирэффект). Этот параметр зависит от магнитных свойств ленты, ее общей толщины и толщины рабочего слоя.

От магнитных свойств ленты зависит и стираемость. При повторном использовании ленты старая запись должна быть ослаблена не менее чем на 70 дБ. Этот параметр измеряют, стирая сигнал частотой 1000 Гц, записанный током записи (без тока подмагничивания), равным току записи максимального уровня на опорной частоте.

Прочностные характеристики магнитной ленты — предел прочности, предел текучести, относительное удлинение — почти целиком определяются ее основой, т.е. у

магнитной ленты и отдельно взятой ее основы эти характеристики практически одинаковы. Лавсановая основа, как правило, обеспечивает необходимые для них прочностные характеристики.

К физико-механическим характеристикам кроме прочностных относятся сабельность и коробление ленты. Сабельность определяется степенью отклонения отрезка ленты длиной 1 м, свободно уложенного на плоскую поверхность, от прямой линии, а коробление — степенью деформации поверхности ленты.

Сабельность и коробление — это виды деформации магнитных лент, возникающие из-за неправильной резки, сушки или намотки их в процессе производства, а также нарушения условий хранения. Следствием этих деформаций является плохое прилегание ленты к магнитной головке, что приводит к дефектам при записи и воспроизведении фонограммы. Значения сабельности и коробления определяются стандартом.

Очень важны такие физические параметры, как нагрузка, соответствующая пределу текучести, относительное и остаточное удлинение под нагрузкой и после ее снятия, работа ударного разрыва. Для лент на лавсановой основе характерны высокая динамическая прочность (большая работа ударного разрыва) и небольшие значения удлинения ленты под нагрузкой и после ее снятия.

Тем не менее тонкие ленты чувствительны к повышенным нагрузкам, вызывающим остаточное удлинение (увеличение длины ленты), что ухудшает верность воспроизведения фонограмм.

Таблица 11

Параметр	Норма для лент шириной, мм			
	6,30		3,81	
	Толщина ленты, мкм			
	37	27	18	12
Сабельность, мм/м, не более	1,0	1,5	1,0	1,5
Коробление, мм, не более	0,1	0,08	0,05	0,15
Нагрузка, соответствующая пределу текучести, Н, не менее	20	16	8	5,5
Остаточное относительное удлинение после снятия нагрузки, %, не более:				
10 Н	0.1	—	—	—
4 Н	—	0,06	—	—
2 Н	—	—	0,04	0,07
Абразивность, мкм/м, не более	$1.5 \cdot 10^{-4}$		$1.5 \cdot 10^{-4}$* 2.5 · -4**	

*Для лент типа МЭК I.

**Для лент типа МЭК II.

Одной из физико-механических характеристик является абразивность. В состав рабочего слоя ленты входит магнитный порошок, который и служит носителем инфор-

мации. Магнитный порошок занимает около 40 % объема рабочего слоя (остальные 60 % приходятся на связующие вещества). Частички магнитных порошков обладают высокой механической твердостью, обусловливая определенное абразивное действие ленты, которое проявляется как истирание магнитных головок, вызывающее расширение рабочего зазора и ухудшение передачи высоких частот.

У магнитных лент старых выпусков абразивность была относительно большой, у современных лент ее удалось существенно снизить. Это достигнуто введением в рабочий слой смазывающих добавок, применением порошков со сглаженной поверхностью частиц, образованием на поверхности частиц тончайших слоев органических веществ, усовершенствованием процесса каландрирования ленты и другими мерами. *Каландрированием* называют процесс прокатки ленты между сильно прижимаемыми друг к другу нагретыми полированными валами на завершающей стадии ее изготовления. В результате этих мер и применения новых более твердых материалов для изготовления магнитных головок долговечность последних перестала ограничивать долговечность аппаратуры бытовой магнитной записи.

В табл. 11 приведены основные физико-механические параметры магнитных лент, регламентируемые стандартом.

Лента шириной 6,30 мм рассчитана на эксплуатацию при температуре —15 ... +40° С, а лента шириной 3,81 мм — при температуре —10 ... +45° С.

ГРАМПЛАСТИНКИ АНАЛОГОВЫЕ

Качественные параметры современной грампластинки позволяют воспроизводить с высокой точностью музыку и речь.

До недавних пор черный диск действительно был эталоном звучания музыкальных произведений, но на смену ему пришел компакт-диск, имеющий неоспоримые качественные преимущества.

Технология изготовления грампластинки сложная и состоит из нескольких этапов: студийной записи звуковой программы на магнитную ленту, перезаписи магнитной фонограммы на диск (получение механической фонограммы), изготовления матриц с диска с помощью последовательных гальванопластических процессов, прессования пластинок и др.

Механическая звукозапись представляет собой способ записи сигнала на вращающемся носителе, имеющем форму диска, вырезанием канавок резцом рекордера соответствующей формы. При записи диск вращается с постоянной частотой, а рекордер перемещается по радиусу от края к центру диска.

Используются два способа механической записи — *монофоническая* (одноканальная) и *стереофоническая* (двухканальная).

При монозаписи резец рекордера совершает колебания вправо и влево от нейтральной линии, в результате чего на вращающемся диске вырезается канавка, правая и левая стенки которой, а также линия дна имеют одинаковый контур (рис. 12,*а*).

Стереофоническая канавка образуется результирующим колебанием резца рекордера под воздействием сигналов правого и левого каналов, отличающихся по частоте и амплитуде. В отличие от моноканавки в стереоканавке обе стенки различны по контуру, ширине, а следовательно, и глубина канавки непрерывно меняется (рис. 12,*б*). При стереозаписи информация правого канала записывается на внешней (расположенной

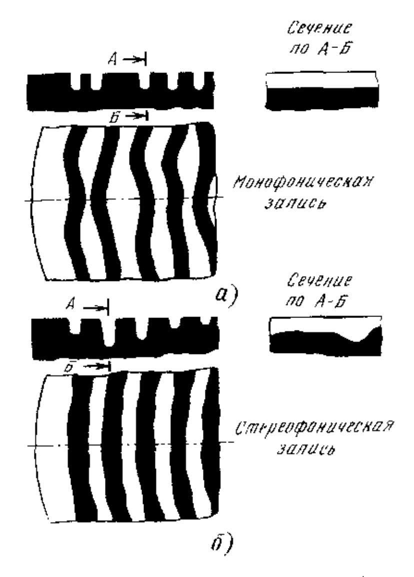


Рис. 12. Канавки монофоническая (*а*) и стереофоническая (*б*)

ближе к борту диска) стенке канавки, а информация левого канала — на внутренней стенке той же канавки. Все грампластинки (кроме гибких) записываются с переменным шагом. Это значит, что скорость перемещения рекордера изменяется в зависимости от амплитуды записываемого сигнала, при большом уровне сигнала шаг записи автоматически расширяется, а при малых уровнях и в паузах сужается. Запись с переменным шагом позволяет эффективно использовать рабочую площадь пластинки — длительность звучания ее увеличивается на 10 ... 15 %.

Современную грамзапись выполняют рекордерами скоростного типа, скорость резца которых пропорциональна напряжению сигнала записи. Скорость колебаний резца в нейтральной точке пропорциональна интенсивности записываемого сигнала. Если интенсивность постоянна, то скорость колебаний тоже постоянна, а амплитуда колебаний обратно пропорциональна частоте сигнала. Полученная таким образом запись называется *запись с постоянной колебательной скоростью*.

Частотная характеристика записи для моно- и стереофонических грампластинок идентична. На рис. 13 приведена частотная характеристика канала записи (кривая 1), которая представляет собой выраженную в децибелах зависимость амплитуды колебательной скорости (произведение амплитуды смещения канавки на угловую частоту записанного сигнала) резца рекордера от частоты сигнала, поданного на вход канала записи при неизменной амплитуде во всем частотном диапазоне. Ход частотной характеристики с завалом на низких звуковых частотах и подъемом на высоких выбран из расчета наибольших допустимых уровней записи, при которых игла звукоснимателя огибает модулированную канавку без потери контакта. В области низких частот уровень записи ограничивается наибольшей амплитудой смещения резца, равной 40 мкм для поперечной и 20 мкм для глубинной записи.

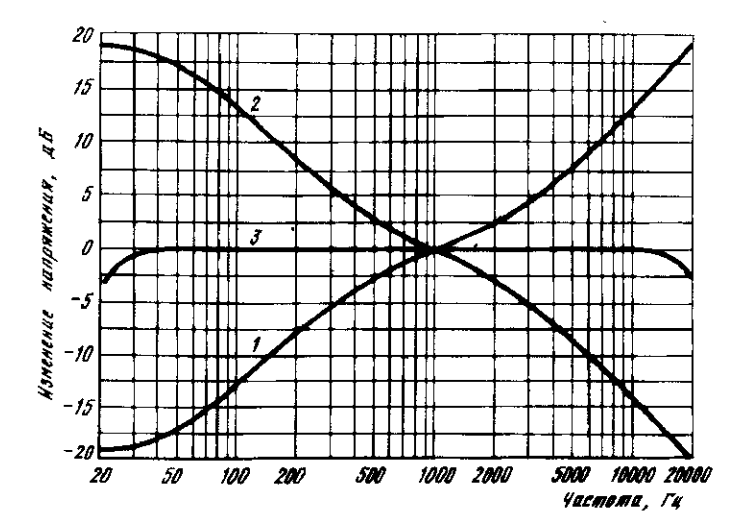


Рис. 13. Частотные характеристики канала механической записи (1); канала воспроизведения (2); магнитного звукоснимателя (3)

В области высоких частот при записи с постоянной колебательной скоростью амплитуда смещения канавки становится сравнимой с собственной шероховатостью поверхности винилитовой грампластинки. Поэтому, учитывая спад спектральной плотности реальных музыкальных сигналов в области высоких частот, для уменьшения относительного уровня шумов запись на частотах выше 1000 Гц производят с постоянной амплитудой канавки.

На практике требуемые участки записи с постоянными скоростью и амплитудой формируют с помощью частотной предкоррекции записи. Такая характеристика была предложена Американской ассоциацией изготовителей звуковоспроизводящей аппаратуры (откуда и происходит название характеристики RIAA — Record Industry Association of America), рекомендована Международной электротехнической комиссией и вошла в национальные стандарты большинства стран. Реальная характеристика предкоррекции формируется соответствующими RC-цепями.

Для получения линейной результирующей частотной характеристики, т.е. звучания, соответствующего оригиналу, неравномерность частотной характеристики каналов воспроизведения (см. рис. 13, кривая 2) должна компенсировать неравномерность частотной характеристики канала записи. Обе частотные характеристики имеют зеркальное отображение относительно нулевой линии.

С 1988 г. фирма "Мелодия" отказалась от традиционного носителя — лакового диска и перешла на новый метод записи, получивший название DMM (Direct Metal Mastering)* и позволивший непосредственно получить металлическую матрицу. Новый метод свободен от многих недостатков традиционной технологии и значительно снижает число операций в процессе производства грампластинок.

* Метод разработан фирмой "Тельдек" (ФРГ).

Алмазный резец нарезает канавку в слое меди, осажденной на стальной диск. При записи резец возбуждается ультразвуковой частотой, в результате стенки канавки получаются очень чистыми. Размеры канавки приведены в табл. 12. С медного оригинала, записанного методом гальванопластики, можно изготовить много копий (вместо одной копии с лакового диска), т.е. сразу получить матрицы для прессования пластинок.

Таблица 12

Параметр	Норма	
	стерео	моно
1. Ширина канавки, мкм:		
немодулированной	40	50
модулированной:		
не менее	30	50
не более	180	70
2. Радиус закругления дна R, мкм, не более	8	8
3. Угол раскрытия канавки	90+2°	90+2°

При малых тиражах уже первая никелевая копия может служить матрицей. В этом случае каждая грампластинка будет всего лишь второй копией оригинала. При больших тиражах матрицы получают со второй никелевой копии. Такая технология не только ускоряет выпуск грампластинки в свет, но и позволяет исключить основные дефекты (щелчки и потрескивания).

Технология DMM имеет и другие достоинства. Перед наращиванием никелевой копии на медный диск не нужно наносить токопроводящий слой серебра, что позволяет экономить драгоценный металл. Звуковая канавка на никелевой копии, лишенная промежуточного серебряного слоя, получается более близкой к оригиналу. Нарезка канавки алмазом по меди не дает заусенцев, поэтому не нужно полировать никелевые копии, а значит, и не будет потери качества звука.

В медном диске не возникает эластичная деформация, присущая лаку, поэтому расстояние между звуковыми канавками уменьшается и время звучания одной стороны на 10 ... 15 % увеличивается.

Долгоиграющие пластинки DMM не имеют щелчков и потрескиваний, а поверхностный шум в широкой полосе частот снижен более чем на 10 дБ по сравнению со вторым оригиналом с лакового диска. Поверхностный шум на пластинке DMM имеет меньше помех импульсного типа по сравнению с традиционными пластинками, особенно сильно снижены высокочастотные шумовые компоненты. Устранение пластических деформаций исключает механическое эхо. Это особенно важно для записей классических произведений. Например, благодаря способности системы DMM уплотнять запись с каждой стороны грампластинки, западногерманской фирме "Ареола" удалось записать оперу Вагнера "Кольцо нибелунга" (со временем звучания 16 ч) на 14 грампластинках вместо стандартных 20.

Устранение всех деформаций канавки во время и после записи значительно улучшает качество воспроизведения грампластинки. Богаче становится звучание верхних частот, согласные звуки речи теряют характерную окраску, уменьшаются нелинейные

2*

искажения. Пластинки имеют больший частотный и динамический диапазон, их звучание приобретает прозрачность.

Согласно техническим условиям (ТУ 43-03-88 — 89) на фонограмму механическую на медном диске диапазон частот канала механической записи составляет 20 ... 20 000 Гц, отклонение частотной характеристики от заданной ±1,5 дБ (в полосе частот 50 ... 12 500 Гц), по краям характеристики допускаются несколько большие отклонения.

Номинальный уровень записи по амплитуде колебательной скорости для левого и правого каналов стереозаписи 10 см·с$^{-1}$, для монозаписи 14 см·с$^{-1}$.

Грамзаписи свойственны нелинейные (гармонические) искажения, обусловленные физическим процессом воспроизведения иглой со сферическим острием фонограммы, записанной треугольным резцом. Нелинейные искажения тем больше, чем выше частота и уровень сигнала и меньше диаметр зоны записи.

Коэффициент нелинейных искажений у современных пластинок не более 1,5 %, что существенно меньше соответствующего показателя у других источников звуковых программ. Кроме нелинейных искажений возможны и интермодуляционные искажения, возникающие из-за несовпадения траекторий вертикального перемещения резца при записи и иглы при воспроизведении пластинки. При этом может теряться раздельность звучания отдельных инструментов, особенно при прослушивании записей музыкальных программ с большим составом инструментов в момент звучания сразу всех инструментов (оркестрового тутти). Такие искажения менее заметны при воспроизведении грамзаписи звукоснимателем с эллиптической или многорадиусной иглой (иглой Шибата).

Коэффициент детонации, с которым может быть записана программа на диск, не превышает 0,04 %. Заметим, что человек способен заметить изменения тональности при коэффициенте детонации начиная с 0,2 %.

При воспроизведении стереопластинки наблюдается взаимное проникание информации, записанной в правом и левом каналах, которое оценивается как переходное затухание. Чем больше переходное затухание между стереоканалами, тем ярче выражается стереоэффект при воспроизведении. Разделение между стереоканалами при записи на диск должно быть не менее 40 дБ. Уровень шума немодулированных канавок диска-оригинала 68 дБ, у грампластинки 60 дБ.

Выпускаются пластинки, на этикетках которых имеется индекс "ЦЗ", что означает цифровая запись. Фонограммы таких пластинок записаны цифровым способом и отличаются высоким качеством. Цифровой метод магнитной записи выявил несовершенство аналоговых форм механической записи. Модуляция звуковой канавки на пластинке осталась традиционной, со всеми присущими ей шумами и искажениями, что снижает эффект применения цифровой записи.

На протяжении ряда лет проводились исследовательские работы по снижению шумов грампластинок, в результате которых был создан новый метод грамзаписи. Значительно меньший уровень шума при его использовании обеспечивается вследствие компрессирования звукового сигнала при записи и экспандирования при воспроизведении. Первый удачный эксперимент в этом направлении уже сделан. Записаны пластинки с компенссированием по системе ДВХ и СХ.

Как показало их прослушивание, полученный эффект шумоподавления настолько высок (количество импульсных помех, щелчков значительно меньше, чем у обычной стереопластинки), что разница между исходной магнитной фонограммой и компрессированной грампластинкой неквалифицированными экспертами не ощущается. Метод

компрессирования фонограммы при записи сигнала требует применения экспандера в проигрывателе, что связано с определенными трудностями для промышленности, выпускающей бытовую радиоаппаратуру.

Качество грампластинки регламентируется ГОСТ 5289 — 88, соответствующим рекомендациям МЭК — 98, что обеспечивает международный обмен пластинками.

Промышленность выпускает монофонические* и стереофонические грампластинки с частотой вращения 33 и 45 мин$^{-1}$.

Форматы пластинок в зависимости от диаметра указаны в табл. 13. Там же приведена длительность звучания (максимальная) стороны пластинки в зависимости от частоты вращения.

Таблица 13

Формат (диаметр, см)	Частота вращения, мин$^{-1}$	Длительность звучания одной стороны, мин
Ф300 (гигант)	33	25
Ф250 (гранд)	33	18
Ф175 (миньон)	33	7
Ф300	45	14
Ф175	45	4

Пластинка имеет вводную канавку, на которую устанавливают иглу звукоснимателя, проходящую в модулированную канавку зоны записи. Модулированная канавка завершается одной-двумя канавками, переходящими, в свою очередь, в выводную канавку, которая заканчивается концентрической замкнутой канавкой. Если на одной стороне пластинки имеется несколько записей, то они разделены промежутками, по которым проходят соединительные канавки.

Канавка на пластинке свернута по спирали, почти по всей ее поверхности образована зона записи (минимальный диаметр зоны записи 120 мм), этикетка размещена на центральной части — зеркале пластинки. При диаметре, меньшем 120 мм, быстро уменьшается линейная скорость, возрастает крутизна канавки и кривизна на гребнях модуляции. При воспроизведении такой записи игла не может точно огибать канавку, в результате чего появляются частотные и нелинейные искажения.

Длина канавки на пластинках диаметром 300 мм, записанной с частотой 33 мин$^{-1}$, около 1 км. Средняя ширина канавки 40 ... 50 мкм, глубина 15 ... 20 мкм, модуляция канавки на высоких частотах равна всего десятым долям микрометра.

Форма поперечного сечения пластинок формата Ф30 и Ф25 показана на рис. 14, зона записи (2 — 3) утоплена относительно борта (1) и центральной части, занятой этикеткой (4), благодаря чему она защищена от возможных повреждений. Кроме того, при утолщенном борте и центральной части пластинка меньше деформируется (коробится). В пластинках диаметром 175 мм утолщена только зона этикетки, являющаяся опорной поверхностью. Масса пластинки формата Ф300 — 130 ... 140 г при толщине 2 ... 3 мм.

* Монофонические пластинки сохраняют ценность лишь для определенных звуковых программ (архивные, документальные записи, уроки иностранных языков и т.п.).

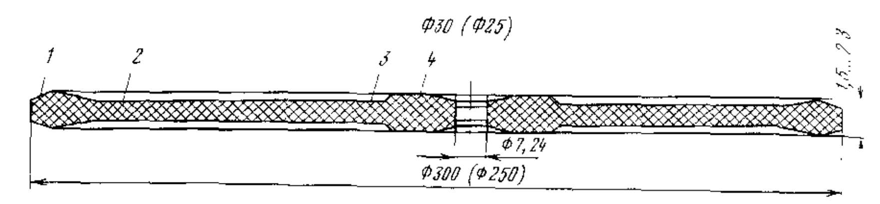


Рис. 14. Форма поперечного сечения пластинки форматов Ф30 и Ф25

На этикетке пластинки имеется ряд условных обозначений, указывающих вид записи, жанр, формат, а также порядковый номер фонограммы.

Моно- и стереофоническая записи обозначаются соответственно буквами М, С; при использовании цифровой магнитной фонограммы — А. Жанр записи обозначается цифрами от 0 до 9:

0 — гимны, документальные и общественно-политические записи;

1 — симфоническая, оперная, камерная, хоровая музыка, музыка для духового оркестра, песни революционной, гражданской и военно-патриотической тематики;

2 — русская народная музыка, русские народные инструменты;

3 — народное творчество;

4 — поэзия, проза, драматургия;

5 — записи для детей;

6 — эстрада, песни советских композиторов, оперетта, танцевальная музыка;

7 — учебные записи;

8 — музыка народов зарубежных стран (фольклор);

9 — прочие записи.

Формат обозначается цифрами: 0 — Ф300; 1 — Ф250, 2 — Ф175. Порядковый номер фонограммы имеет пять цифр, для моно- и стереопластинок нумерация раздельная. Для обработки заказов торговли на ЭВМ предусмотрен дополнительный шифр – три цифры.

На этикетке пластинки проставляется год записи фонограммы; на конверте пластинки указывают год выпуска, тираж, студию, подготовившую фонограмму, и завод, выпустивший пластинку.

Качество воспроизведения грамзаписи обусловлено физико-механическими свойствами, точностью изготовления пластинок. В связи с этим к ним предъявляется ряд эксплуатационных требований. Основные из них: отсутствие дефектов, влияющих на качество звучания, соответствие принятым нормам на эксцентриситет центрового отверстия, кривизны поверхности (коробление) уровень шума, достаточная износостойкость.

Эксцентриситет центрового отверстия пластинок относительно центра записи не должен превышать 0.2 мм. При большем смещении может прослушиваться детонация, т.е. возникает "плавание" звука в результате периодического повышения и понижения тональности при каждом обороте пластинки. Звукосниматель при этом смещается влево и вправо относительно оси его положения при воспроизведении нормальной грампластинки. Повышенная детонация особенно заметна при воспроизведении музыкальных записей.

Коробление пластинки не должно превышать 1.5 мм. (Это означает, что если ее положить на плоскость, то зазор между бортом пластинки и плоскостью в местах коробления не должен превышать 1.5 мм.) При значении, большем 1.5 мм, качество звучания ухудшается. Наиболее сильное коробление чаще всего наблюдается у борта пластинки. Кривизну поверхности можно легко определить при проигрывании пластинки — на участке коробления звукосниматель периодически поднимается и опускается. При воспроизведении покробленой пластинки могут возникать искажения, воспринимаемые на слух как периодическое изменение уровня сигнала. Повышенное коробление приводит также к появлению детонации и ускоренному износу пластинки. Особенно ощутимы эти искажения при проигрывании стереофонических пластинок на высококачественных проигрывателях. Пластинки с повышенным эксцентриситетом и короблением являются браком.

Пластинка должна без усилий устанавливаться на диск проигрывателя и сниматься с него. Диаметр центрового отверстия пластинки должен быть 7,24 мм.

Материалом для прессования пластинки служит специальная пластмасса, в состав которой входят главным образом винилит* и добавки, придающие ей нужные технологические свойства, а также высокодисперсная сажа в качестве пигмента для окрашивания.

Требования к физико-механическим свойствам пластмассы очень жесткие. Материал пластинки под иглой звукоснимателя оказывается под давлением и в какой-то степени подвергается деформации. Важно, чтобы во избежание заметных искажений при первом и повторных проигрываниях эти деформации были незначительны и полностью исчезали после прекращения контакта между иглой и канавкой.

На качество пластинок влияет состав пластмассы, от которого зависит точность воспроизведения звука, уровень шума, износостойкость, масса пластинки.

Норма на уровень собственного шума пластинки, представляющий собой помеху при воспроизведении, определяется не только качеством пластиночной массы, но и состоянием матрицы и режимом прессования.

Пластинки выпуска прежних лет имели значительный начальный уровень шумов (—54 дБ) и большое число импульсных помех при прогрывании.

Согласно новым нормам для пластинок асех форматов уровень шума немодулированной канавки должен быть по крайней мере на 60 дБ ниже уровня записи программы. Следует отметить, что по мере движения иглы звукоснимателя к центру пластинки уровень шума снижается ввиду уменьшения линейной скорости канавки. Пластинка производит впечатление бесшумной, когда при отсутствии щелчков и потрескиваний при среднем положении регулятора громкости воспроизводящей аппаратуры шум не воспринимается слушателем на расстоянии 1 м от громкоговорителя.

Не следует путать собственный шум пластинки и помеху от вибрации (рокота) движущего механизма проигрывателя. Если у аппаратов высшего класса уровень рокота минимален —66 дБ, то у аппаратов массового выпуска уровень помехи достигает —42 дБ, что существенно превышает уровень шума самой пластинки.

По обратной величине уровня шума можно судить о динамическом диапазоне звучания программы, записанной на пластинке. Однако в действительности этот диапазон меньше, так как он характеризуется отношением максимального уровня записи к минимальному, а для восприятия слухом слабого сигнала необходимо, чтобы последний перекрывал шум по крайней мере на 10 ... 15 дБ. Поэтому динамический диапазон грамзаписи оценивается примерно в 45 дБ.

---

* Винилит — полимер винилхлорида и винилацетата — термопластическая смола с температурой размягчения около 140° С. По внешнему виду винилит — порошок белого или слегка желтого цвета.

Следует отметить, что перезапись на диск — творческий процесс; в зависимости от характера произведения звукорежиссер предусматривает различные ограничения динамического диапазона.

Степень сжатия должна быть незаметной для слушателя, без нарушения динамики музыкального произведения, т.е. фортиссимо должно звучать очень громко, пиано — тихо и с сохранением музыкальных оттенков — крещендо (нарастание звука), диминуэндо – (спад звука). Нарушение художественных нюансов лишает музыкальное произведение контрастности и в конечном итоге искажает замысел композитора и исполнителя.

Существенным показателем пластинки является ее износостойкость, которая определяет возрастание шума грампластинки и многократность проигрывания. Основной причиной износа грампластинки является механическое сопротивление звукоснимателя проигрывателя: чем оно меньше, тем больше гибкость звукоснимателя, меньше прижимная сила, с которой он работал и меньше разрушающее воздействие иглы на канавку. Высококачественные звукосниматели с большой гибкостью и малой прижимной силой практически не разрушают канавку в течение 50 циклов воспроизведения. По современным понятиям такой срок службы пластинки является вполне достаточным. При аккуратном обращении с пластинкой шум увеличивается всего на 2 ... 3 дБ.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРАМПЛАСТИНОК

Приведем правила эксплуатации грампластинок и причины, влияющие на качество их звучания.

Качество звучания грампластинок в значительной мере зависит от состояния ее поверхности. Опыт показывает, что пластинка больше портится от неправильного обращения с ней, чем при проигрывании. Даже незначительные царапины, точечные повреждения канавки, пыль, жировые пятна от пальцев приводят к быстрому износу пластинки. Шумы и искажения звучания такой пластинки резко возрастают после 10 ... 15 проигрываний.

Пластинка, как и фотоснимок, не любит влажных и загрязненных рук. Если касаться руками зоны записи, то некоторое количество влаги неизбежно попадает в канавку и вместе с частицами пыли откладывается на ее дне и микроскопических изгибах, после чего запись начинает шипеть, высокие частоты приглушаются. Чем дольше находится грязь в канавке, тем труднее ее удалить.

Устанавливать и снимать пластинку следует только при неподвижном диске, иначе ее можно поцарапать. Не устанавливайте и не снимайте звукосниматель на пластинку вручную.

Избегайте повторения отдельных фрагментов на середине записи пластинки. Опускание иглы на модулированную канавку даже с помощью микролифта создает царапины и приводит к точечным повреждениям и микросколам.

Основным "врагом" диска является пыль. Осевшие в звуковую канавку пылинки при воспроизведении записи дают потрескивание и шипение. Твердые частицы пыли оказывают абразивное действие, ускоряя износ стенок канавок и самой иглы.

Отдельные волокна, попадая под иглу, на короткое время нарушают ее контакт со стенкой канавки. При проигрывании это проявляется в искажении звука. Другие волоски, как "борода", прилипают к кончику иглы, и это рано или поздно делает невозможным следование иглы по канавке.

Особенно чувствительны к загрязнению канавки звукосниматели высококачественных электропроигрывателей, отличающиеся высокой чувствительностью и работающие с малой прижимной силой. Игла такого звукоснимателя, легко перемещаясь как в поперечном, так и в вертикальном направлении, не способна вытолкнуть из канавки грязевые частицы, как это может сделать "тяжелый" звукосниматель, например пьезоэлектрический.

"Легкий" звукосниматель вдавливает частицы в канавку и проходит над ними. В результате сужается полоса воспроизводимых частот и запись сопровождается шумами. На таких проигрывателях можно качественно воспроизводить пластинку в том случае, если поверхность ее не исцарапана, канавка чиста, не засорена даже микропылинками.

Для удаления пыли, а также продуктов выработки (крошки и стружки), неизбежно появляющихся при проигрывании, пластинку перед каждым проигрыванием следует протирать слегка влажной чистой тряпочкой. Для этого желательно использовать раствор этилового спирта и дистиллированной воды в равных пропорциях (можно ограничиться одной дистиллированной водой). Для протирки применяют мягкий материал, не оставляющий ворса.

Исследования, проведенные для изучения наилучших условий хранения грампластинок, показали, что они должны находиться в вертикальном положении; при этом достигается наименьшее давление на пластинку: опирающаяся на свой борт пластинка несет только свою массу, пыль не оседает в канавках. К этому можно еще добавить, что пластинку, хранящуюся в вертикальном положении, легко достать.

Глава 4
АППАРАТУРА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ГРАМЗАПИСИ

Электропроигрыватель состоит из электропроигрывающего устройства (ЭПУ) и предварительного усилителя-корректора и является самостоятельным функциональным блоком, подключаемым к тракту звукоусиления.

Нередко в качестве стереосистемы используют комбинированную аппаратуру — электрофон или радиолу, в состав которой входит ЭПУ.

Электрофон кроме ЭПУ и усилителя-корректора (для высококачественных моделей) включает блок коммутации (БК), усилитель звуковой частоты (УЗЧ), акустические системы (АС). Предусмотрено подключение для усиления звука внешних источников программ: тюнера, магнитофонной приставки, радиотрансляционной линии, а также магнитофона на запись. На рис. 15 приведена структурная схема стереофонического электрофона.

УСТРОЙСТВО. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОВРЕМЕННЫХ ЭПУ

Качество ЭПУ имеет существенное значение при воспроизведении грамзаписи. Электропроигрывающее устройство состоит из механизма, приводящего во вращение грампластинку, звукоснимателя и различных по назначению устройств и приспособлений для создания эксплуатационных удобств. Основные из них: подстройка частоты вращения с визуальной индикацией, автостоп, микролифт, возврат звукоснимателя в исходные положения, компенсатор скатывающей силы, регулятор прижимной силы звукоснимателя. Цель эксплуатационных удобств — достижение высококачественно-

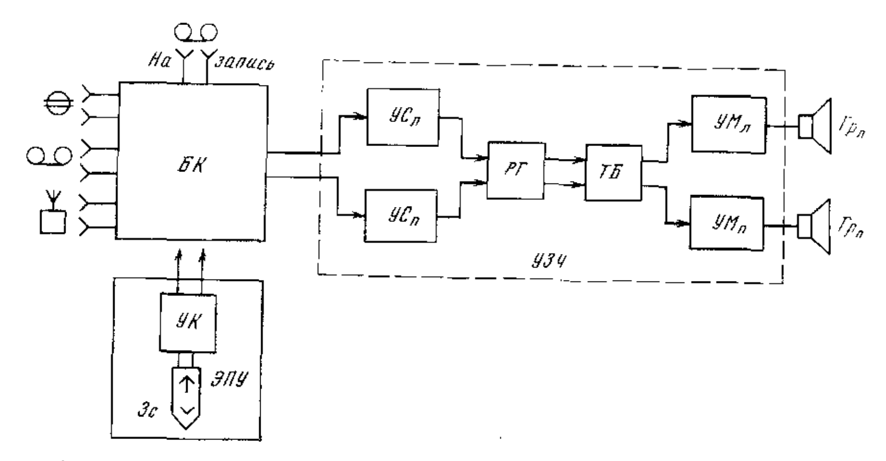


Рис. 15. Структурная схема стереофонического электрофона

го воспроизведения и сохранение грампластинки, а также предохранение от повреждения головки звукоснимателя.

Современные ЭПУ рассчитаны на воспроизведение грампластинок с частотами вращения 33 1/3 и 45,11 мин$^{-1}$.

Электропроигрывающие устройства высокого качества снабжаются магнитными звукоснимателями, массовые — пьезоэлектрическими.

Основные показатели ЭПУ, влияющие на качество воспроизведения: стабильность частоты вращения диска, уровень помех от вибраций, отношение сигнала к рокоту, коэффициент детонаций. Помимо этих показателей, зависящих главным образом от конструкции приводного механизма и точности его изготовления, очень важны электрические параметры — частотный диапазон воспроизведения и неравномерность частотной характеристики, определяемые параметрами установленного в ЭПУ звукоснимателя.

За последние годы в области конструирования электропроигрывающих устройств достигнута очень высокая стабильность вращения диска в результате применения электронных устройств управления числом оборотов и систем кварцевой стабилизации. Нашел применение так называемый непосредственный привод (шпиндель диска является продолжением вала сверхтихоходного электродвигателя), или, как еще его называют "Direct driev" — прямой привод.

Сверхтихоходные электродвигатели имеют массивный ротор, что, в свою очередь, требует применения тяжелого диска. Это обеспечивает малую неравномерность вращения диска, снижает коэффициент детонации до 0,05 %.

Наиболее широкое применение в современных проигрывателях получили ременные передачи с использованием тихоходного двигателя.

Для питания двигателя используют генератор НЧ, вырабатывающий напряжения частот 37 и 50 Гц для частот вращения диска 33 1/3 и 45,11 мин$^{-1}$ соответственно. Система ременного привода обеспечивает коэффициент детонации примерно 0,1 %, отношение сигнала к рокоту около 60 дБ.

Достоинства как ременной передачи с тахогенератором, так и непосредственного привода сочетает система, получившая название "Direct control" (система с прямым контролем).

Применение такой передачи существенно снижает "плавание" звука по сравнению с ременной передачей.

Фрикционная передача с помощью промежуточного ролика из-за повышенного уровня рокота применяется лишь в самых дешевых проигрывателях.

Электронная система управления функциями ЭПУ делает более удобной эксплуатацию электропроигрывателя. В современных моделях управление ими выведено на сенсорное поле переключения рода работ. Такого типа переключатели уменьшают вероятность возникновения паразитных наводок и особенно необходимы, если переключатель расположен на мягко подвешенной панели электропроигрывателя.

Качество звучания грампластинки зависит как от ее собственных характеристик, определяемых всеми звеньями канала записи, так и от характеристик ЭПУ, т.е. от канала воспроизведения. Наилучшие параметры сквозного тракта записи — воспроизведения грампластинок достигаются при оптимальном согласовании параметров электропроигрывателей и грампластинок. Согласование прежде всего касается частотных характеристик.

Амплитудно-частотная характеристика магнитного звукоснимателя практически горизонтальна (см. рис. 13, кривая 3). Поэтому предварительный усилитель-корректор ЭПУ необходим не только для усиления сигналов звукоснимателя, но и для коррекции АЧХ канала воспроизведения (кривая 2).

Стандарт на усилитель-корректор предусматривает нормирование АЧХ в полосе частот 10 Гц ... 25 кГц. Необходимые требования для качественного звуковоспроизведения грамзаписи — согласование входных параметров усилителя с головкой звукоснимателя и основным усилителем НЧ.

Нелинейные искажения в современном предусилителе-корректоре составляют 0,02 ... 0,03 % на частоте 1 кГц при выходном напряжении 1 В. Запас по перегрузке на частоте 1 кГц относительно уровня 3 мВ у большинства предусилителей-корректоров достигает 30 ... 40 дБ. Наибольшее отношение сигнал-шум относительно уровня 2 мВ на частоте 1 кГц составляет 70 дБ. Точность воспроизведения АЧХ в современных предусилителях ±0,2 ... 0,5 дБ.

Для получения стандартной характеристики воспроизведения заводы, выпускающие электропроигрыватели, пользуются специальными измерительными пластинками, фонограмма которых представляет собой ряд записанных в определенной последовательности звуковых сигналов с фиксированными частотами и амплитудами. Поэтому частотные характеристики электропроигрывателей обычно соответствуют стандартной характеристике воспроизведения. Однако в процессе эксплуатации вследствие старения элементов звукоснимателя, замены иглы или всей головки это соответствие может нарушиться.

Для проверки частотных характеристик воспроизведения стереопроигрывателя можно использовать измерительную пластинку ИЗМ 33С — 0201/0202. Сторона пластинки с номером 0201 служит для измерения частотной характеристики левого канала, а с номером 0202 — правого. На обеих сторонах записан ряд сигналов фиксированных частот, длительность записи каждого из сигналов 10 с, переход от зоны сигнала одной частоты к зоне сигнала другой частоты плавный (скользящий тон). Это позволяет точно зарегистрировать уровень выходного сигнала на всех фиксированных частотах и с помощью прибора проверить отсутствие пиков и провалов характеристики между соседними фиксированными частотами. Переход с участка с записью скользящего тона к участку с записью сигнала фиксированной частоты представляет собой немодулиро-

Таблица 14

Параметр	Норма по группе сложности			
	0-я	1-я	2-я	3-я
ЭПУ, ЭП				
Среднее отклонение от номинальной частоты вращения, %, не более	±0,55	±1,2	±1,5	±2,2
Отношение сигнала к рокоту, дБ, не менее (взвешенная величина)	76	60	55	47
Коэффициент детонации, %, не более	0,05	0,15	0,20	0,20
Диапазон частот канала воспроизведения, Гц	20...20000	ЭФ 20...16000	40...12500	50...12500
Номинальная выходная мощность каждого канала воспроизведения, Вт	25	15	10	3

ванную соединительную канавку с большим шагом записи. В результате на пластинке легко найти зону с записью сигнала любой нужной частоты.

При измерениях рекомендуется пользоваться осциллографом, подсоединив его параллельно измерительному прибору. Порядок проведения измерений приведен на конверте пластинки.

В соответствии с ГОСТ 11157 — 87 электропроигрывающие устройства (ЭПУ), электропроигрыватели (ЭП)*, электрофоны (ЭФ) по электромеханическим и электрическим параметрам разделяются на четыре группы сложности: 0-я (высшая), 1-, 2- и 3-я. Нормы на основные электромеханические, электрические и электроакустические параметры ЭПУ, ЭП, ЭФ приведены в табл. 14.

ЗВУКОСНИМАТЕЛИ

От звукоснимателя в первую очередь зависит верность воспроизведения фонограммы, записанной на грампластинке.

Звукосниматель содержит головку — преобразователь механических колебаний иглы в электрические сигналы и тонарм — ее несущий узел, обеспечивающий перемещение иглы с головкой по грампластинке.

Звукосниматель в целом имеет довольно сложную электромеханическую колебательную систему, состоящую из ряда звеньев, каждое из которых оказывает влияние в соответствующей области воспроизводимых частот. Для любого звукоснимателя характерно наличие низко- и высокочастотных резонансов, ограничивающих общий диапазон его воспроизводимых частот и вызывающих повышенный износ грампластинки и иглы.

В звукоснимателях высокого класса низкочастотный резонанс находится за пределом слышимого диапазона — в области частот ниже 15 Гц, высокочастотный приходится на область 20 000 Гц и выше.

* Электропроигрыватели выпускаются 0-й (высшей) и 1-й групп сложности.

Тонарм современного звукоснимателя является сложным прибором точной механики. Для устранения внешних воздействий на тонарм вертикальная и горизонтальная поворотные оси должны пересекаться в его центре тяжести. Хорошо сбалансированный тонарм обеспечивает равномерную нагрузку острия иглы на стенки канавки, устойчивость к сотрясению, что позволяет не соблюдать строго горизонтальное положение проигрывателя. Кроме балансировки в упомянутых плоскостях конструкция тонарма предусматривает регулировку так называемой скатывающей силы, которая возникает как составляющая сила при движении тонарма к центру пластинки, стремящаяся сдвинуть иглу поперек канавки. Нескомпенсированная скатывающая сила вызывает повышенное давление на внутреннюю стенку канавки, что нарушает стереобаланс между каналами. Появляются искажения звука, усиливается износ внутренней стенки канавки и соответствующего края иглы.

Скатывающая сила пропорциональна прижимной силе звукоснимателя. Поэтому при измерении прижимной силы необходимо соответственно изменить величину компенсации скатывающей силы. Проверка и регулировка прижимной силы, а также компенсация скатывающей силы имеют важное значение для высококачественного воспроизведения грамзаписи.

Проверке прижимной силы подлежит и вновь приобретенная аппаратура. Как показала практика, предписание по регулировке звукоснимателей не всегда точно выполняется изготовителем. О правилах регулировки указывается в инструкции по эксплуатации аппаратуры.

Современные высококачественные ЭПУ немыслимы без автоматизации управления тонармом. В простейшем случае автомат управления состоит из микролифта и устройства, связывающего его работу с остановкой привода диска по окончании проигрывания пластинки (автостоп).

С уменьшением прижимной силы современных звукоснимателей на смену механическим системам автостопа пришли бесконтактные автостопы на основе фотоэлектрических и индуктивных датчиков положения тонарма.

ГОЛОВКИ ЗВУКОСНИМАТЕЛЯ

Головка звукоснимателя представляет собой высокоточный электромеханический прибор. Именно от нее зависят электромеханические параметры аппаратуры воспроизведения грамзаписи.

По принципу преобразования механических колебаний иглы в электрические сигналы головки звукоснимателей делятся на *пьезоэлектрические, магнитные, емкостные, фотоэлектрические, полупроводниковые и электронные.*

Наиболее широкое применение нашли пьезоэлектрические и магнитные головки. Пьезоэлектрические являются амплитудными преобразователями (ЭДС пропорциональна отклонению иглы головки), магнитные — скоростными (генерируемая ЭДС пропорциональна колебательной скорости фонограммы).

Пьезоэлектрические головки наряду с достоинствами (высокая чувствительность, близкая к стандартной АЧХ, простота конструкции) имеют и существенные недостатки. Главный из них — механическая связь подвижной системы головки* с пьезоэлементом, что в конечном счете значительно снижает так называемую гибкость звуко-

* Подвижная система головки — совокупность иглы и деталей головки, колеблющихся вместе с ней при воспроизведении грамзаписи.

снимателя, вынуждает работать с относительно большой прижимной силой и приводит к быстрому износу игл и грампластинок.

Колебательная система пьезоэлектрической головки представляет собой сложный механический контур, имеющий в рабочем диапазоне частот несколько резонансов. Это увеличивает неравномерность АЧХ головки, сужает диапазон воспроизводимых частот. Все это привело к замене пьезоголовок высококачественной аппаратуры воспроизведения грамзаписи на магнитные головки. Имеется несколько разновидностей таких головок: с подвижным элементом из магнитомягкого материала, с укрепленным на подвижном элементе магнитом (электромагнитные) и с катушкой в качестве подвижного элемента (электродинамические). Их всех объединяет общий принцип работы: изменение магнитного поля в катушке при механических колебаниях подвижного элемента. Достоинством и принципиальной особенностью этих головок яаляется отсутствие механической связи подвижной системы с элементами преобразователя. Это дает возможность снизить действующую массу подвижной системы головки, повысить ее гибкость, уменьшить прижимную силу и время протекания переходных процессов (30...60 мкс) (у пьезоэлектрических головок — 150...200 мкс).

Однако низкая чувствительность и практически горизонтальная АЧХ магнитных головок требуют применения корректирующих предварительных усилителей, тщательного экранирования магнитных цепей.

Наибольшее распространение в отечественной промышленности получили головки с подвижным магнитом.

Какие параметры характеризуют современные высококачественные головки? Прежде всего — полоса воспроизводимых частот и неравномерность воспроизведения в этой полосе. Хорошими считаются головки, воспроизводящие колебания от 30 Гц до 16 кГц с неравномерностью ± 3 дБ. Лучшие образцы головок воспроизводят полосу частот 20...20 000 Гц с неравномерностью не более ± 1 дБ.

Чувствительность головки или отдача на частоте 1 кГц зависит от типа преобразователя. Например, у электромагнитных головок чувствительность составляет около 0,1 мВ$\cdot$см$^{-1}\cdot$с, в то время как у пьезокерамических она может достигать 1 В$\cdot$см$^{-1}\cdot$с.

Рекомендуемое сопротивление нагрузки (практически входное сопротивление усилителя) также существенно различается для разного типа головок. У пьезоэлектрических оно колеблется от 0,5 до 2,0 МОм. Сопротивление нагрузки электромагнитных головок стандартизовано и составляет 47 кОм. Отклонение от этих значений ухудшает условия согласования, снижает (увеличивает) отдачу головки на определенных частотах, тем самым искажая ее частотную характеристику (входные и выходные параметры НЧ аппаратуры приведены в приложении 2). Переходное затухание сигнала между каналами носит явно выраженный частотно-зависимый характер. В справочной литературе оно обычно указывается для частоты 1 кГц, где разделение максимально. По краям воспроизводимого диапазона затухание уменьшается. Затухание 15...20 дБ на частоте 1 кГц считают удовлетворительной. Головки, у которых оно составляет 20...25 дБ в диапазоне 50 Гц...15 кГц, относятся к высококачественным.

Несовпадение частотных характеристик обоих каналов нарушает общую музыкальную картину, изменяя местоположение инструментов (исполнителей) в оркестре. Для высококачественных головок значение несовпадения не должно превышать 2 дБ. Параметр этот особенно "каверзный", поскольку выправить такую неравномерность нельзя ни с помощью регулятора тембра, ни регулировкой стереобаланса усилителя.

Одним из важнейших показателей, характеризующих головку, является коэффициент нелинейных искажений. Возникновение нелинейных искажений при воспроиз-

ведении сигналов с пластинки объясняется многими причинами. Кроме качества работы электромеханического преобразователя головки, искажение в большей степени зависит от положения иглы в канавках пластинки во время воспроизведения. Поэтому при воспроизведении записанного без искажений синусоидального сигнала образуются гармонические составляющие, а также суммарные и разностные колебания различных типов. Комбинационные колебания всегда расположены негармонично относительно основной частоты сигнала и являются поэтому особенно заметными на слух. Искажения сильно зависят от угла перекоса головки α, вертикального угла β воспроизведения и горизонтального угла погрешности φ (рис. 16). Эти углы обусловлены в основном конструкцией тонарма и его геометрическим положением относительно канавки.

Угол перекоса α может возникнуть вследствие неточной установки головки в тонарм. Искажения увеличиваются даже при малых углах перекоса иглы относительно сторон канавки. Следует отметить, что перекос головки ухудшает разделение каналов. При угле перекоса 2° он увеличивается на 6 дБ.

У лучших типов головок коэффициент нелинейных искажений не превышает 1,5%.

Важнейшим механическим параметром головки, характеризующим условия ее эксплуатации, является прижимная сила звукоснимателя, представляющая собой вертикальную силу, действующую на канавки грампластинки через иглу. Ее значение не может быть выбрано произвольно и определяется надежностью следования, т. е. способностью иглы находиться в непрерывном подвижном контакте с обеими стенками канавки при воспроизведении. Мерой надежности следования является минимальная прижимная сила, обеспечивающая вышеуказанную способность.

Очевидно, износ пластинки находится в прямой зависимости от прижимной силы звукоснимателя. Однако эта зависимость, как показала практика, нелинейна. Например, разницей в износе пластинки при прижимной силе 5...1,5 мН (0,5...1,5 Гс) практически можно пренебречь. Увеличение же силы, с которой игла действует на канавку пластинки, до 25...50 мН (2,5...5,0 Гс) приводит к заметному увеличению ее износа. В высококачественных аппаратах прижимная сила звукоснимателя приближается к 5...10 мН.

Не следует путать минимальную и оптимальную рекомендуемые прижимные силы. В паспорте головки указывается интервал сил, в пределах которого обеспечивается реализация параметров головки. Рекомендуется прижимная сила, значение которой находится примерно посередине крайних значений. Например, если указано, что головка работает при прижимной силе в диапазоне 10...25 мН, оптимальным значением прижимной силы будет 17,5 мН.

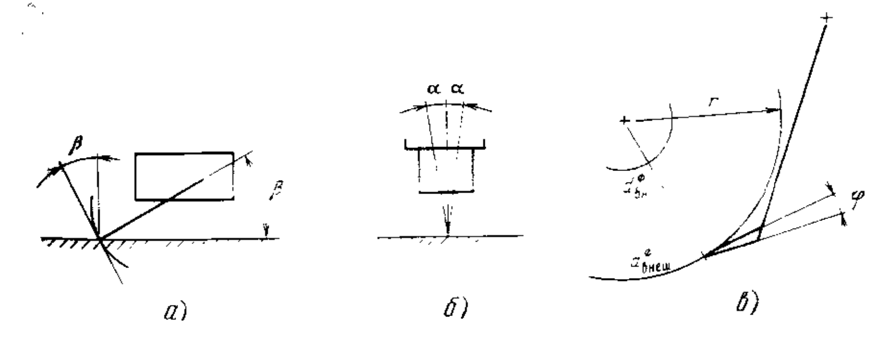


Рис. 16. Геометрические углы, определяющие искажения воспроизводимого сигнала

Прижимная сила находится в зависимости от другого основного параметра головки — механического сопротивления, которое из-за трудности достоверного измерения обычно контролируется по гибкости подвижной системы головки. Эта характеристика отражает способность подвижной системы головки перемещаться под воздействием силы, приложенной к острию иглы.

Следует отметить, что в пьезоголовках невозможно добиться большой гибкости, потому что иглодержатель связывается с твердым пьезокристаллом, деформация которого необходима для получения электрического сигнала.

На рис. 17 схематически показана работа головок с хорошей и плохой гибкостью. Как видно из рисунка, плохая гибкость головки вызывает при проигрывании грампластинки колебания всего тонарма. Поскольку его масса, а следовательно, и инерционность во много раз больше, чем у подвижной системы головки, то необходимо увеличивать прижимную силу для предотвращения потери контакта иглы с пластинкой, так как иначе игла не сможет быстро опускаться после прохождения пиков модуляции и будет терять контакт с канавкой пластинки. К этому следует добавить, что такая головка не успевает "читать" высокочастотную модуляцию.

Хорошими считаются головки, у которых гибкость подвижной системы выше 10×10^{-3} м/Н.

Головки звукоснимателя в зависимости от электрических параметров разделяются на четыре группы сложности: 0-я (высшая), 1-, 2-я и 3-я (гост 18631 — 87). Основные параметры головок звукоснимателей и ассортимент моделей указаны в табл. 15 и 16 соответственно.

Стандартные внешние и установочные размеры позволяют устанавливать магнитные головки как в отечественных, так и в зарубежных ЭПУ.

ИГЛЫ

В головках звукоснимателей всех классов нашли широкое применение алмазные сферические иглы, поперечное сечение которых в рабочей части (в месте, где игла контактирует со стенками канавки грампластинки) имеет форму круга. Сама игла имеет сложную форму. Полусферическое острие иглы для повышения ее прочности переходит в конус; конусообразная часть — в цилиндрическую, образующую тело иглы, служащее для крепления к иглодержателю.

Радиус закругления острия иглы определяется размерами канавки так, чтобы игла опиралась на обе ее стороны в точках, расположенных достаточно глубоко, и тем самым была бы исключена возможность выхода иглы из канавки. Радиус закругления острия сферической иглы 15 ... 18 мкм.

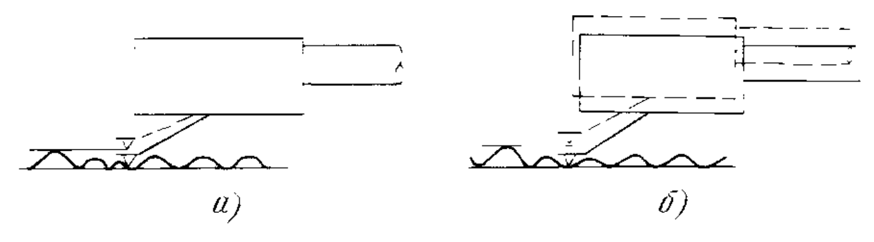


Рис. 17. Схематическое изображение работы головки с хорошей (*а*) и плохой (*б*) гибкостью

Таблица 15

Параметр	Норма по группе сложности 0-я	1-я	2-я	3-я
Диапазон воспроизводимых частот, Гц, не уже	20...20 000	20...16 000	40...12 500	50...12 500
Неравномерность частотной характеристики в диапазоне воспроизводимых частот, дБ, не более	±1,5	±3,0	±6,0	±10
Чувствительность на частоте 10 000 Гц, мВ·см$^{-1}$·с, для головок:				
магнитных	0,7 ... 2,0			
пьезоэлектрических	70 ...200			
Разделение стереоканалов, дБ, не менее, на частоте 1000 Гц	25	20	20	15
Прижимная сила, мН, не более, для головок:				
магнитных	10	20	30	
пьезоэлектрических	—	—	—	70

Таблица 16

Тип головки звукоснимателя. Группа сложности: 0-я	1-я	2-я	3-я
ГЗМ-003	ГЗМ-103	ГЗМ-255	ГЗК-662
ГЗМ-005Д	ГЗМ-105Д		ГЗКУ-631Р
ГЗМ-012	ГЗМ-108		ГЗП-301
ГЗМ-018	ГЗМ-155		ГЗП-303А
ГЗМ-043	MF-100(ПНР)		ГЗП-315С
ГЗМ-055			

В высококачественных электропроигрывателях применяют так называемую эллиптическую иглу. Такая игла имеет в сечении острия не круг, как у сферической иглы, а эллипс (большая ось эллипса иглы ориентирована поперек канавки). По сравнению со сферической эллиптическая игла имеет меньшую площадь контакта со стенкой канавки, что улучшает воспроизведение высоких частот и уменьшает искажения.

Идентичность характеристик стереоканала обеспечивается симметрией между двумя радиусами в точках контакта конца иглы с канавкой. Применение эллиптической иглы позволяет не только уменьшить нелинейные искажения, но и улучшить отдачу на высоких частотах (динамический диапазон увеличивается примерно на 10 дБ).

Наибольшую верность передачи звука с пластинки может обеспечить биэллиптическая игла, или, как ее еще называют, игла Шибата, которая имеет форму резца. Такая игла существенно улучшает АЧХ головки и уменьшает нелинейные искажения

в области высших частот. Игла Шибата была известна сравнительно давно, но из-за сложности технологии ее изготовления (отсюда большая стоимость) не получила широкого распространения. Сейчас, когда стремятся с аналоговой пластинки получить высококачественную запись, обратились к игле Шибата.

Применение игл эллиптических и Шибата возможно в звукоснимателях, работающих с малой прижимной силой (не более 15 мН). При повышении прижимной силы давление такой иглы может оказаться критическим, т. е. вызовет необратимую деформацию материала пластинки и ускорит износ ее и самой иглы.

Существенное значение для качества воспроизведения пластинки имеет состояние иглы. В результате изменения формы закругления острия игла теряет способность огибать канавку на высоких частотах, а появившиеся на ней грани портят стенки канавки, особенно в местах большой модуляции. С возрастанием износа иглы наступает момент, когда она начинает касаться дна канавки, при этом уровень помех при воспроизведении заметно увеличивается.

Обычно срок службы иглы определяется общим числом часов проигрывания, но при этом следует учитывать и условия эксплуатации, прижимную силу звукоснимателя, число и состояние проигранных пластинок. Степень изношенности иглы можно проверить с помощью сильной лупы. Изношенная игла имеет сошлифованные площадки в местах ее контакта со стенками канавки.

Устаноалено, что для высококачественного воспроизведения иглу следует менять через 500 ч, предельная норма — 1000ч.

Несмотря на то, что алмаз износостойкий, это не означает, что он одновременно является и ударопрочным. Нельзя допускать падения звукоснимателя с иглой на пластинку или рядом с ней, этого достаточно, чтобы от нее отломился мельчайший осколочек. Проигрывать пластинку такой иглой категорически воспрещается, малейшая щербинка на острие иглы вызывает шипение пластинки и разрушает канавку. Иглу сразу же следует проверить, и если она повреждена, то заменить ее.

При воспроизведении стереофонической записи важно, чтобы игла звукоснимателя не была перекошена по отношению к стенкам звуковой канавки, иначе нарушается баланс стереоканалов и звуковое изображение смещается от середины в сторону одного из громкоговорителей. О правильной ориентации иглы по отношению к стенкам канавки легче всего судить, воспроизводя демонстрационную грампластинку, запись для левого и правого канвлов. Если положение головки правильное, то запись, выполненная по одному из каналов, будет воспроизводиться также по одному каналу, одноименному с каналом записи. При перекосе головки звук смещается к середине базы громкоговорителей. В этом случае иглодержатель необходимо немного повернуть вокруг оси так, чтобы игла установилась перпендикулярно плоскости пластинки. Делать это надо аккуратно, чтобы случайно не повредить головку звукоснимателя.

Состояние иглы дает представление о чистоте пластинки. Посмотрите на иглу сквозь сильную лупу. Если на ее поверхности заметите бугорки слипшейся пыли, это показывает, что пластинка была с избытком обработана антистатиком. Загрязнение следует немедленно удалить. Чистить иглу лучше всего мягкой колонковой кисточкой. Если на игле имеется липкое или засохшее загрязнение, воспользуйтесь тонкой ленточкой из плотного нейлона, слегка смоченной спиртом. Будьте осторожны, если на ленточке будет излишек спирта, он затечет в головку звукоснимателя и приведет к ее порче. Не следует чистить иглу пальцем или использовать не предназначенный для этого инструмент. При чистке иглы головку звукоснимателя нужно вынуть из тонарма и держать вверх иглой. Чистить нужно осторожно, перемещая кисточку или ленточку вдоль продольной оси головки от контактов соединителя к концу иглы и слегка вверх

ЭЛЕКТРОПРОИГРЫВАТЕЛЬ "КОРВЕТ-038 СТЕРЕО"

Познакомимся с техническими особенностями конструкции электропроигрывателя высшей группы сложности "Корвет-038С". В проигрывателе установлен сверхтихоходный бесконтактный двигатель постоянного тока с электронной коммутацией обмоток; применена система автоматического регулирования частоты вращения диска с использованием оптоэлектронного датчика положения ротора трехфазного генератора.

Оригинальная конструкция тонарма — демпферное устройство в виде полого шара, обеспечивающее вязкое динамичное демпфирование основного резонанса в горизонтальной и вертикальной плоскостях одновременно (частота резонанса 7,5 Гц), что в сочетании с минимальным трением в осях гарантирует идеальный контакт иглы с канавкой грампластинки.

Оригинальный демпфер полностью подавляет детонацию, рокот и низкочастотную перегрузку усилителя, вызываемые резонансными явлениями в тонарме. Тонарм имеет регуляторы вертикальной и горизонтальной балансировки статического положения, пределы регулирования которых достаточны для уравновешивания головки звукоснимателя любого типа с массой 4 ... 8 г, регулятор прижимной силы, обеспечивающий нагрузку на иглу в пределах 0 ... 25 мН и равномерное давление на канавку грампластинки, а также компенсатор скатывающей силы.

Головка звукоснимателя ГЗМ-018 "Корвет" — магнитная, хорошо согласуется с усилителем, содержащим корректор частотной характеристики записи. Иглодержатель выполнен из бериллия, что снизило действующую массу подвижной системы до 0,8 мг. Высокие качественные показатели головки обусловлены применением новых магнитных материалов на основе редкоземельных элементов, полиуретановых полимеров, а также использованием сложной и точной технологии изготовления, сборки и юстировки узлов. Алмазная игла эллиптического сечения с кристаллографической ориентацией; ее ресурс в 2 раза больше, чем у неориентированной иглы. Электропроигрыватель снабжен устройством автостопа, реагирующим на изменение скорости перемещения звукоснимателя на выводных канавках грампластинки любого формата.

Автостоп и микролифт выполнены на фотоэлектронных элементах и герконах (без механических связей) и снабжены световой индикацией, что предупреждает повреждение грампластинки. Регулятор плавной подстройки частоты вращения диска и стробоскопический индикатор обеспечивают точность воспроизводимой тональности. В ножках электропроигрывателя установлены регулируемые по жесткости пружинные амортизаторы, защищающие панель от внешних вибраций. Электропроигрыватель укомплектован автоматическим щеточным пылеочистителем, который опускается в начале и поднимается после проигрывания, не влияя на частоту вращения двигателя.

Основные технические данные: диапазон воспроизводимых частот 20 ... 20 000 Гц, коэффициент детонации не более 0,08 %, отношение сигнал-рокот 66 дБ, суммарный коэффициент гармонических искажений на частоте 1000 Гц 2%, гибкость подвижной системы головки звукоснимателя $20 \cdot 10^{-3}$ м/Н, разделение стереоканалов 25 дБ (основные технические характеристики аппаратуры воспроизведения грамзаписи приведены в приложении 3).

Глава 5

АППАРАТУРА МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЗВУКА

КЛАССИФИКАЦИЯ МАГНИТОФОНОВ

Показатели качества аппаратуры магнитофонной записи и ее параметры определяются ГОСТ 24963 — 87, распространяющимся на катушечные и кассетные магнитофоны, магнитофоны-приставки и магнитофонные панели.

Аппараты магнитной записи в зависимости от основных параметров и выполняемых функций подразделяют на пять групп сложности: 0-я (высшая), 1-, 2-, 3-, 4-я.

Условно их можно разделить на две группы: высококачественные (высшей и 1-й групп сложности). Высококачественные магнитофоны производят только стереофоническими, а массовые — как стерео-, так и монофоническими.

Применяются упрощенные стереофонические магнитофоны, выполненные с двумя предварительными усилителями, но с одним усилителем мощности и соответствующей АС. Эти аппараты позволяют вести запись моно- и стереофонических программ, однако через громкоговоритель воспроизводить можно лишь монофоническую запись. Прослушивание стереопрограммы возможно через головные стереофонические телефоны, подключаемые к линейному выходу магнитофона.

Магнитофон-приставка в отличие от магнитофона не имеет усилителя мощности и громкоговорителя. Приставку можно использовать для записи, а для воспроизведения необходимо подключить отдельный усилитель с АС. Прослушивать записанные программы непосредственно с приставки можно с помощью головных телефонов.

Магнитофонный проигрыватель (плеер) не имеет блока записи и предназначен только для воспроизведения готовых фонограмм. Выпускаются проигрыватели только кассетные.

Магнитофонная панель является частью комбинированных радиоустройств (магнитолы, магниторадиолы, магнитоэлектрофона). Она состоит из лентопротяжного механизма, предварительного усилителя для записи и воспроизведения, индикаторе уровня.

В зависимости от условий эксплуатации магнитофоны подразделяют на стационарные, переносные и носимые.

Стационарные магнитофоны отличаются сравнительно большой массой и не предназначены для транспортирования.

Переносные магнитофоны состааляют основную группу бытовых аппаратов. Они имеют специальные приспособления для транспортирования, обладают соответствуюшей массой. Электропитание переносных магнитофонов осуществляется от сети переменного тока.

Носимые (кассетные) магнитофоны отличаются малыми габаритными размерами и массой, что позволяет эксплуатировать их в любом месте, а также во время движения. Работоспособность таких магнитофонов обеспечивается в любом положении. Питание носимых магнитофонов универсальное (от комплекта батарей или сети переменного тока).

В дальнейшем ограничимся рассмотрением в основном высококачественной аппаратуры.

ПАРАМЕТРЫ АППАРАТУРЫ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

Магнитофон, как правило, является вторичным источником информации. Поэтому его параметры следует рассматривать с точки зрения имеющихся источников звуковой информации и возможностей человека как приемника этой информации.

Для бытовых магнитофонов основными источниками для записи сигнала являются грампластинки, тюнеры, другие магнитофоны, микрофоны, трансляционная линия. Очевидно, что наилучшим источником в бытовых условиях являются высококачественные грампластинки.

Для магнитофона наиболее важными следует считать такие параметры: отклонение скорости движения ленты от номинального значения, коэффициент детонации, частотный диапазон, отношение сигнал-шум, коэффициент нелинейных искажений и уровень записи. Рассмотрим подробнее эти параметры.

Для бытовых магнитофонов нормируются три номинальные скорости движения ленты: 19,05 (19); 9,53 (9) и 4,76 (4) см/с. Лентопротяжный механизм (ЛПМ) магнитофона должен обеспечить постоянство скорости движения ленты от начала до конца рулона и при изменении напряжения питания на $\pm 10\%$ от номинального значения. Так как обеспечить постоянную скорость движения ленты в заданных условиях практически невозможно, то регламентируется отклонение скорости движения ленты не более $\pm 2\%$ от номинального значения. Превышение этого допуска при обмене фонограммами будет ощущаться на слух как изменение тональности звучания фонограммы, причем, когда скорость движения ленты больше номинального значения, тональность звучания становится выше натуральной, а при уменьшении скорости — ниже.

Отклонение скорости движения магнитной ленты от номинальной не сказывается при записи и воспроизведении на одном и том же магнитофоне, если это отклонение постоянно. Оно может быть замечено при воспроизведении записи, выполненной на другом магнитофоне, либо при воспроизведении на другом магнитофоне записи с используемого магнитофона.

Так, если прогремма записана на магнитофоне с отклонением скорости от номинальной на $+2\%$, а воспроизводится на другом, у которого отклонение скорости -2%, то изменение тональности звучания может быть замечено даже не специалистом.

Неблагоприятным в этом отношении может быть случай, когда ленты с фонограммами, записанными в различное время и на разных магнитофонах, сращиваются вместе для воспроизведения (это касается катушечных магнитофонов). Допустимое значение отклонения скорости ленты нормируется: для магнитофонов высшей группы сложности не более $\pm 1\%$, для аппаратов 1-й группы $\pm 1{,}5\%$, для остальных аппаратов $\pm 2\%$.

Движение магнитной ленты всегда сопровождается периодическими и непериодическими колебаниями скорости. В результате этого возникает частотная модуляция воспроизводимого сигнала с частотами 0,2 ... 200 Гц. Эта частотная модуляция и вызывает искажения, называемые *детонацией*, а ее значение характеризуется отношением амплитуды колебаний скорости ленты к среднему значению скорости. Это отношение называется *коэффициентом детонации* и оценивается в процентах. Чувствительность слуха к детонации зависит от частоты модуляции. Медленные колебания скорости ленты с частотами до 4 Гц воспринимаются на слух как "плавание" звука; от 5 до 15 Гц — как "дробление"; колебания до 25 Гц — как "дрожание"; выше 25 Гц — как хриплость звучания, а начиная от 100 Гц — как дополнительные тоны. Особенно

неприятны на слух колебания скорости с частотами 2 ... 6 Гц. Сильнее всего повышенная детонация проявляется при прослушивании фонограммы с записью медленной фортепьянной музыки.

Порог слышимости детонации зависит от характера записанной фонограммы и составляет 0,1 ... 0,15%. Действуюшим стандартом нормируются значения коэффициента детонации не более $\pm0{,}08\%$ для магнитофонов 0-й группы и до $\pm0{,}4\%$ — для 4-й группы сложности.

Частотный диапазон характеризует качество воспроизведения фонограммы. Высокое качество воспроизведения музыквльных программ можно обеспечить лишь в том случае, когда рабочий частотный диапазон охватывает не только основные тона музыкальных инструментов, но и их субтона. Как известно, максимальная частота основного тона музыкальных инструментов не превышает 4000 Гц. Вместе с тем некоторые музыкальные инструменты издают весьма сложные звуки с содержанием гармоник до седьмого порядка (частотный спектр малого барабана и тарелок заходит в область ультразвука). Как показал опыт, опознаваемость звуков человеком во многом зависит от правильной передачи аппаратурой переднего фронта ("атаки") звука. Поэтому рабочий диапазон частот высококачественных магнитофонов может быть до 20 ... 25 кГц. В пределах рабочего диапазона магнитофон должен иметь минимальную неравномерность частотной характеристики, так как при неравномерности выше 2 ... 4 дБ слух человека ощущает искажения программы, особенно заметные в области средних частот, где чувствительность слуха максимальная.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВО ЗАПИСИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

Главным в магнитной записи являются процессы, протекающие в зоне магнитного взаимодействия магнитных головок и носителя записи. Параметры именно этой зоны и определяют в итоге основные характеристики магнитофона в целом — динамический диапазон в определенной полосе частот при заданном уровне искажений.

По мере уменьшения длины волны записанных колебаний (с повышением частоты) уменьшается и ЭДС воспроизводящей головки. В предельном случае, когда длина волны записанных колебаний будет равна ширине рабочего зазора головки, ЭДС воспроизводящей головки становится равной нулю. Это уменьшение ЭДС получило название *щелевые потери*.

Длина волны записанного сигнала прямо пропорциональна скорости движения носителя записи и обратно пропорциональна частоте записываемого (или записанного) сигнала. Следовательно, чем выше скорость движения магнитной ленты, тем шире (при прочих равных условиях) частотный диапазон. Расширению частотного диапазона способствует и уменьшение ширины рабочего зазора воспроизводяшей головки.

Для обеспечения неискаженного воспроизведения фонограмм на различных магнитофонах рабочие зазоры магнитных головок нужно установить перпендикулярно направлению движения магнитной ленты. Относительный перекос рабочих зазоров эквивалентен увеличению рабочего зазора воспроизводяшей головки и приводит к ослаблению воспроизведения высоких звуковых частот, этот эффект получил название *частотные потери*.

Значение частотных потерь зависит от скорости движения магнитной ленты и рабочего зазора головки. Чем меньше скорость движения магнитной ленты и чем шире рабочий зазор, тем больше будут частотные потери. Стандартом установлен максимальный угол перекоса рабочих зазоров, при котором частотные потери имеют допустимое значение и практически не сказываются на качестве воспроизведения. Для двухдорожечной фонограммы угол перекоса рабочих зазоров не должен превышать 5′, а для четырехдорожечной — 8′. Когда магнитофон имеет универсальную магнитную головку, а запись и воспроизведение фонограммы осуществляются на одном магнитофоне, частотные потери не возникают.

Существенное ослабление воспроизведения высоких звуковых частот может быть из-за неплотного прилегания магнитной ленты к рабочей поверхности воспроизводящей головки. Причиной таких потерь, называемых *контактными*, могут быть загрязнение рабочей поверхности магнитной головки, применение вытянутой или коробленой магнитной ленты, плохой прижим магнитной ленты к рабочей поверхности головки, слабое натяжение магнитной ленты ЛПМ и, наконец, шероховатость рабочего слоя магнитной ленты. Значение контактных потерь прямо пропорционально зазору между рабочей поверхностью головки и магнитной лентой, частоте воспроизводимого сигнала и обратно пропорционально скорости движения магнитной ленты. Например, при расстоянии между рабочей поверхностью головки и магнитной лентой всего в 2 мкм и скорости движения ленты 9,53 см/с частота 10 000 Гц будет ослаблена более чем в 3,5 раза (на 11 дБ).

Рабочий частотный диапазон нормируется в зависимости от скорости движения магнитной ленты, кроме того, нормируется неравномерность АЧХ канала воспроизведения и канала записи — воспроизведения (сквозного канала).

Нелинейные искажения характеризуются появлением в выходном сигнале магнитофона составляющих с частотами, отсутствовавшими во входном сигнале. *Коэффициент нелинейных искажений* показывает отношение амплитуд гармоник к амплитуде основного сигнала и выражается в процентах. Известно, что реальный сигнал содержит множество частотных компонент. При этом нелинейность элементов, входяших в узлы магнитофона, приводит к появлению не только гармонических, но и комбинационных составляющих, частоты которых равны различным комбинациям разности и суммы частот входного сигнала. Субъективное восприятие нелинейных искажений в значительной степени обусловлено комбинационными частотами.

В аппаратуре высокой верности воспроизведения усилительные каскады имеют коэффициент гармоник 0,05 ... 0.1%, основным источником искажений является магнитная лента ($К_г$=0,5 ... 3%).

Коэффициент гармоник обычно измеряют при записи сигнала частоты 400 Гц (1000 Гц) с уровнем номинальной намагниченности 250 нВб/м для кассетных и 320 нВб/м для катушечных магнитофонов.

Отношение сигнал-шум показывает отношение напряжения полезного сигнала при воспроизведении фонограммы к напряжению шума паузы. Различают отношение сигнал-шум канала воспроизведения и канала записи — воспроизведения (сквозного канала). В первом учитываются помехи усилителя воспроизведения и помехи, наводимые на магнитную головку и входные цепи, а во втором — помехи канала воспроизведения, помехи усилителя записи и шумы магнитной ленты. При определении сигнал-шум канала записи — воспроизведения напряжение помехи измеряют при воспроизведении записанной на магнитной ленте паузы (запись без сигнала на входе магнитофона, когда ко входу вместо источника звукового напряжения подключено его эквивалентное сопротивление).

Отношение сигнал-шум канала запись — воспроизведение определяет максимально возможный динамический диапазон программы, которая может быть записана без искажений. Этот параметр в аппаратах 0-й группы сложности имеет значение не менее 60 дБ. На субъективное восприятие прослушиваемой программы влияют и другие параметры, такие как фазовые и динамические искажения, проникновение сигналов с соседнего канала, спектр модуляционных шумов и т. д.

В заключение можно сказать, что для высококачественной записи программ с грампластинки с учетом двукратной перезаписи "идеальный" магнитофон должен иметь следующие параметры:

стабильность скорости движения магнитной ленты не хуже ±(0,1 ... 0,2)%; коэффициент детонаций не хуже ±(0,08 ... 0,1)%; частотный диапазон 20 ... 22 000 Гц; коэффициент гармонических искажений не хуже 0,15 ... 0,3%; отношение сигнал-шум не хуже 60 ... 70 дБ.

Следует упомянуть о некоторых других факторах, влияющих на качество записи и воспроизведения.

Существенно влияет на качество фонограммы ток высокочастотного подмагничивания, который зависит от типа используемой магнитной ленты. При оптимальном токе подмагничивания обеспечивается наибольший уровень записи; превышение оптимального тока вызывает резкое ослабление записи высоких звуковых частот и некоторое усиление записи низких звуковых частот; при уменьшении тока подмагничивания, наоборот, несколько ослабляется запись низких звуковых частот и резко увеличивается запись высоких звуковых частот. Оптимальный ток высокочастотного подмагничивания устанавливают по максимуму отдачи (чувствительности) магнитной ленты на средней частоте рабочего диапазона (обычно на частоте 400 или 1000 Гц).

Качество магнитной записи зависит от уровня записи и соответственно намагниченности ленты. Увеличение уровня записи выше допустимого приводит к перемодуляции ленты и появлению нелинейных искажений при воспроизведении, а уменьшение уровня затрудняет получение необходимого отношения сигнал-шум. Для каждого типа ленты установлен свой максимально допустимый уровень намагниченности, при котором коэффициент нелинейных искажений не превышает определенного значения. Общая регулировка усилителя в заводских условиях производится с учетом параметров применяемого в магнитофоне типа ленты. Поэтому для получения высокого качества записи при эксплуатации данного магнитофона необходимо учитывать указания завода-изготовителя о типе применяемой в магнитофоне ленты.

Уровень записи существенно зависит от напряжения сигнала, поступающего на вход усилителя. Для подбора оптимального уровня записи в процессе самой записи в один из первых каскадов усилителя включен регулятор амплитуды сигнала. Контроль за изменениями уровня записи ведут по показаниям индикатора уровня.

Для индикации уровня записи в магнитофонах обычно используют устройства, выполненные на основе стрелочных приборов, со шкалой, отградуированной в логарифмическом масштабе в децибелах и в процентах, с диапазоном измерения 24 дБ. При записи программ регулирование уровня производится так, чтобы наибольшие показатели индикатора не превышали 0 дБ (100%). Из-за инерционности механизмов этих приборов и несовершенства выпрямительных устройств (время интеграции 150 ... 200 мс) такие индикаторы не дают истинного представления об уровне записываемого сигнвла. Они позволяют оценить средний уровень лишь музыкальных произведений с небольшим диапазоном (динамическим). Сигналы малой длительности, характерные

для некоторых музыкальных инструментов, регулируются ими с большим занижением, поэтому при максимальном (по индикатору) уровне записи эти сигналы перемодулируют магнитную ленту. В результате нелинейные искажения резко увеличиваются.

Предотвратить такие искажения можно уменьшением уровня записываемого сигнала. Однако при этом неизбежно ухудшается отношение сигнал-шум фонограммы. В катушечных магнитофонах, динамический диапазон которых достаточно велик, уменьшение уровня записи еще допустимо, в кассетных же нежелательно, так как их шумовые параметры и без того хуже, чем в катушечных. К тому же по стрелочному индикатору невозможно установить, насколько необходимо уменьшить уровень записи, чтобы искажения при пиках сигнала отсутствовали.

Чтобы избежать заметных искажений, вызванных кратковременными перегрузками, в дополнение к стрелочным индикаторам устанавливают так называемые пиковые индикаторы уровня записи, выполненные на светодиодах. Такие индикаторы практически безынерционны (время интеграции 5 ... 10 мс), поэтому сигнализируют о наличии в записываемой программе сигналов любой длительности, если те превышают максимальный уровень. По такому индикатору уже можно установить максимальный уровень записи с учетом пиковых значений сигнала. В стереофонических магнитофонах пиковые индикаторы могут быть как раздельными (в каждом канале свой), так и совмещенными (один на оба канала).

В последних моделях катушечных и кассетных магнитофонов стали применяться вакуумно-люминесцентные индикаторы. В ряде случаев индикаторы превращены в многофункциональные многоцветные дисплеи, отображающие ряд параметров одновременно.

Вместо механических переключателей, которым свойственны серьезные недостатки, применяют электронные коммутаторы, в качестве которых используют биполярные и полевые транзисторы, оптроны и другие полупроводниковые приборы. Использование электронного коммутатора позволило повысить помехозащищенность канала запись — воспроизведение. Применение вместо механического счетчика расхода ленты электронного дало возможность ввести дополнительные режимы: "Память" (возврат к конкретному участку фонограммы по показаниям счетчика, заложенным в память аппарата);

"Автопоиск" (автоматический переход в режим "Остановка" при достижении счетчиком нулевых показаний).

В аппаратах, имеющих трехдвигательный лентопротяжный механизм, предусмотрено дистанционное управление режимами ЛПМ.

Проводная система представляет собой небольшой пульт, связанный с магнитофонным кабелем. Пульт имеет кнопки, дублирующие все органы управления магнитофона: "Воспроизведение", "Перемотка вперед", "Перемотка назад", "Стоп". С помощью пульта можно автоматизировать поиск нужного фрагмента фонограммы с последующим автоматическим переключением магнитофона в режим "Воспроизведение", как это, например, предусмотрено в дистанционном проводном устройстве "Эврика", обеспечивающем автоматизированный поиск до 16 фрагментов. Длина кабеля, соединяющего дистанционное управление с магнитофоном, позволяет находиться от аппарата на расстоянии 6 м.

Более удобны беспроводные устройства дистанционного управления магнитофоном, работающие на инфракрасных лучах (ИК), куда входят пульт дистанционного управления (он же передатчик ИК излучения) с сенсорным управлением; фотоприем-

ник и дешифратор команд, подключаемый к магнитофону. В качестве ИК излучения используют светодиоды. Для формирования той или иной команды применяют кодирование временного интервала между импульсами излучения.

С пульта дистанционного управления при нажатии кнопки какой-либо команды излучаются импульсы, приемник магнитофона преобразует их в электрический сигнал, поступающий на привод ЛПМ. Каждой команде соответствует определенная посылка импульса. Сколько команд, столько посылок, отличающихся временным интервалом между импульсами.

СИСТЕМА ШУМОПОДАВЛЕНИЯ

Для улучшения качественных показателей аппаратуры магнитной записи применяют электронные средства шумоподааления. Существуют два основных принципа шумоподавления: обработка сигнала при записи-воспроизведении и снижение шума фонограммы, записанной без каких-либо шумоподаалений.

К первой группе относятся так называемые компандерные устройства, которые, не устраняя шумы источника, предотвращают пояаление шумов, создаваемых собственно трактом звукопередачи. Эти устройства довольно сложны, но окупаются тем, что позволяют практически полностью избавиться от шумов. Ко второй группе принадлежат устройства однократного воздействия, работающие лишь при воспроизведении. Они, как правило, проще в исполнении, однако при их действии подааляются не только шумы, но и часть информации, содержащаяся в полезном сигнале.

Компандерное устройство шумоподавления состоит из сжимателя (компрессора) и расширителя (экспандера). В сжимателе, который включается перед входом усилителя записи магнитофона, происходит усиление слабых сигналов при неизменном уровне собственных шумов. Уровень подъема слабых сигналов составляет 8 ... 10 дБ. Обработанный таким образом сигнал поступает на вход усилителя записи и записывается на магнитную ленту. Сигнал с выхода усилителя воспроизведения поступает на расширитель, в котором усиленный в сжимателе сигнал ослабляется до первоначального уровня, т. е. до 8 ... 10 дБ. На такое же значение уменьшается уровень шума и тем самым увеличивается отношение сигнал-шум (рис. 18).

При передаче максимальных уровней коэффициент усиления и отношение сигнал-шум практически остаются постоянными. Отсюда следует, что на выходе расширителя уровень шума изменяется в такт с уровнем полезного сигнала, т. е. максимальное подавление шума происходит в паузе и при малых входных сигналах, а при подаче на вход сигнала большого уровня помеха маскируется и не воспринимается на слух.

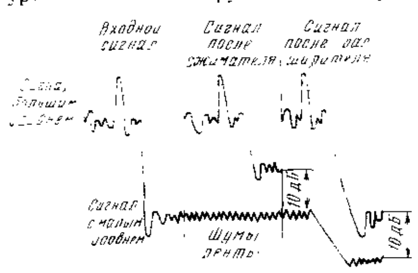


Рис. 18. Принцип работы компандерного устройства

Наибольшее распространение получила компандерная система шумоподавления типа Долби (названная по имени ее изобретателя). Существуют две ее разновидности: Долби-А — для профессионального использования и Долби-Б — для бытовых аппаратов.

Большое внимание уделяется шумопонижению в кассетных магнитофонах с небольшой скоростью движения ленты и узкой дорожкой записи, т. е. с повышенной ее плотностью. При этом отношение сигнал-шум ухудшается в большей степени, чем, например, нелинейные искажения, детонации и другие параметры.

Высококачественные бытовые магнитофоны оснащают шумоподавителями системы Долби-Б. Поскольку при воспроизведении больше всего мешают шумовые слагающие на средних и высших частотах, работа устройства Долби-Б ограничена диапазоном от 500 Гц до высших звуковых частот.

Степень шумоподавления автоматически регулируют в зависимости от уровня сигналов и ширины частотного диапазона, в котором действует шумоподавление. Автоматическое регулирование происходит в зависимости от частоты входного сигнала. Предельно достижимый эффект шумоподавления на различных частотах следующий: 600 Гц — 3 дБ, 1200 Гц — 6 дБ, 2400 Гц — 8 дБ, 5000 Гц — 8 дБ, 5000 ... 10 000 Гц — 10 дБ.

Большому распространению системы Долби-Б способствует выпуск специальной интегральной схемы, содержащей все элементы устройства шумоподавления.

Новая компандерная система шумоподавления Долби-С (спектральная запись) превосходит систему Долби-Б по двум важным параметрам: обеспечивает на 10 ... 12 дБ большее подавление шума и эффективно работает практически во всем звуковом диапазоне. Важно, что данная система способна подавлять сетевую помеху, от которой очень трудно избавиться.

В бытовой аппаратуре магнитной записи широко используют пороговые шумоподавители. Принцип их действия основан на следующем: в паузах, когда шумы проявляются сильнее, в тракте воспроизведения автоматически уменьшается коэффициент усиления. Паузы распознают по уровням полезного сигнала и шума. В состав усилителя воспроизведения магнитофона вводят устройство, порог срабатывания которого подбирают так, чтобы эффективное снижение шума не сопровождалось сужением динамического диапазона всего магнитофона в целом.

Более эффективен динамический ограничитель шума (динамический фильтр). Его используют только при воспроизведении; запись проводят обычным способом. Принцип работы основан на так называемой динамической фильтрации сигнала, заключающейся в изменении частотной характеристики тракта воспроизведения в зависимости от спектра сигнала. Ограничитель шума применяют, когда более всего мешает шум высших частот, главным образом в паузах или при тихом воспроизведении записи.

Спектр музыкальных сигналов в значительной степени зависит от громкости исполнения — с ее уменьшением относительное содержание высокочастотных составляющих в сигнале уменьшается (при игре пианиссимо излучаются преимущественно основные тона, которые для большинства инструментов находятся в диапазоне, не превышающем 4...5 кГц. Поэтому если во время исполнения и в паузах уменьшить полосу пропускания канала до 4,5...5 кГц, то это лишь незначительно ухудшит качество звучания. Но характерные для звукозаписи высококачественные шумы, проявляющиеся наиболее сильно при малом уровне сигнала и в паузах, будут ослаблены. При увеличении громкости (уровня сигнала) полоса пропускания расширяется, но одновременно увеличивается маскировка шумов полезным сигналом и подавление шумов не обязательно. Динамический фильтр подключают к выходу усилителя воспроизведения.

Применение такого шумоподавителя позволяет уменьшить уровень шума в канале воспроизведения на 4...6 дБ.

В отдельных моделях зарубежных магнитофонов реализованы компандерный шумоподавитель и динамический фильтр. Эти устройства переводят из одного режима работы в другой с помощью переключателя. Компандер используют при новых записях, а шумопонижающий фильтр — при воспроизведении ранее сделанных записей.

Отечественные системы шумоподаалення (типа "Маяк", "Эпизод-201") по техническим параметрам не уступают зарубежным аналогам.

Шумоподавитель "Эпизод-201", выпускаемый в виде автономного блока, обеспечивает подавление собственных шумов и помех различного происхождения в диапазоне частот 30 Гц...30 кГц. Прибор можно подключать не только к магнитофону, но и к электрофону, электромузыкальным инструментам, радиоприемнику, телевизору.

КАССЕТНЫЕ МАГНИТОФОНЫ

Кассетные магнитофоны работают на магнитной ленте шириной 3,81 мм при скорости ее движения 4, 76 см/с; используется дополнительная (необязательная) скорость 2,38 см/с, применяемая при записи речи.

Кассетные аппаратуры в основном стереофонические (четырехдорожечные); изготавливают также монофонические (двухдорожные) модели.

Выпускают кассетные магнитофоны всех групп сложности (кроме нулевой). В табл. 17 приведены их основные параметры.

Лентопротяжные механизмы кассетных магнитофонов выполнены по кинематическим схемам с одним, двумя и тремя электродвигателями. Привод ведущего вала осуществляется обычно ременной передачей, в высококачественных моделях применяют ведущий вал прямого привода.

Таблица 17

Параметр	Норма по группе сложности				
	0-я (высшая)	1-я	2-я	3-я	4-я
Коэффициент детонации, %, не более	±0,08	±0,12	±0,2	±0,35	±0,4
Частотный диапазон, Гц, не уже	2...20000	31,5...18000	40...14000	63...10000	63...10000
Отношение сигнал-шум, дБ, не менее	60	56	54	48	46
Коэффициент гармоник, %, не более	1.5	1,5	2.5	3.5	4,0

В зависимости от группы сложности и функциональных возможностей кассетные магнитофоны могут быть снабжены либо универсальным усилителем, либо раздельными усилителями записи и воспроизведения, работающими на одну универсальную головку магнитофона.

В высококачественных моделях кассетных магнитофонов реализован сквозной канал. На месте универсальной головки размещены две миниатюрные головки записи

и воспроизведения. Чтобы лента плотно облегала каждую головку, перед головкой записи устанавливают дополнительно электродвигатель. В высококачественных аппаратах применяют износостойкие сендастовые* магнитные головки.

Промышленностью освоен выпуск дубль-кассетных аппаратов, объединяющих в одном корпусе два магнитофона-приставки: один предназначен для воспроизведения, другой — для записи и воспроизведения. Предусмотрен одновременный пуск обоих аппаратов при перезаписи, которая может проводиться как на номинальной, так и на повышенной скоростях; может быть удвоено время звучания — как только заканчивается воспроизведение первой кассеты, автоматически включается вторая. Эти аппараты снабжены одним счетчиком ленты.

Большинство кассетных магнитофонов работает с двумя или тремя типами лент. Для этого применяется устройство калибровки тока высокой частоты, позволяющее максимально использовать параметры данной ленты. На плате магнитофона устанавливают соответствующий переключатель.

Фонограммы в кассете отличаются от фонограмм в катушечных четырехдорожечных магнитофонах иным расположением дорожек записи.

На каждой половине ленты в одном напраалении записываются две дорожки, которые при стереофонической записи служат для левого и правого каналов. При монофанической записи в каждом напраалении используется объединенная дорожка, равная по ширине сумме двух дорожек стерео и промежутку между ними. Таким образом, при монофоническом воспроизведении получается такая же общая длительность звучания, как и при стереофоническом. Сделано это для того, чтобы кассеты с монозаписью можно было использовать на стереомагнитофонах и, наоборот, воспроизводить на монофоническом аппарате стереофонические записи без потери громкости. Естественно, что такое расположение стереодорожек не позволяет проводить монофоническую запись на каждой из четырех дорожек, как это возможно в катушечных магнитофонах.

Одна из популярнейших кассетных моделей — стационарная приставка первой группы сложности "Вега МП-120 стерео". Аппарат с сендастовой магнитной головкой и трехмоторным лентопротяжным механизмом, с квазисенсорным управлением, в нем применены бесколлекторные двигатели с электронным управлением на датчиках Холла. Электронная часть магнитофона построена на основе специализированных интегральных микросхем и комбинированной магнитной головки записи и воспроизведения, что обеспечивает сквозной канал. Контроль и установку уровня записи и воспроизведения можно производить раздельно для каждого из стереоканалов.

Магнитофон обеспечивает автоматическую защиту выходов при включении и переключениях режимов работы ЛПМ, выбор петли и автоматическую остановку. В канале записи — воспроизведения предусмотрена возможность включения компандерной системы ограничения шума. Благодаря использованию микропроцессора значительно расширены функциональные возможности. Предусмотрены режимы работы "Ускоренный", "Память", "Обзор", "Возврат", "Запись паузы" и др. Использован активный шумоподавитель компандерного типа, электронный счетчик ленты. Приставка рассчитана на работу с двумя типами лент (МЭК I, МЭК II). Устройство калиб-

* Сендаст — железо — алюминий кремниевый сплав, по магнитным свойствам не уступает пермаллоевым. Особенностью сендастов является высокая твердость и износостойкость.

ровки под применяемый тип магнитной ленты позволяет максимально использовать ее параметры. Предусмотрена возможность ступенчатого изменения уровня сигнала на линейном выходе.

Модификацией "Веги МП-120" является двухкассетная приставка "Вега МП-122", где предусмотрена перезапись на повышенной скорости (9,53 см/с), синхронный запуск обоих лентопротяжных механизмов, последовательное воспроизведение фонограмм с первого и второго ЛПМ. Диапазон воспроизводимых частот для ленты типа МЭК I 40...14 000 Гц, МЭК II 31,5...18 000 Гц.

В приложении 4 представлены основные сведения о высококачественной кассетной аппаратуре (1- и 2-й групп сложности), выпускаемой отечественной промышленностью.

Отечественная кассетная аппаратура пока еще не реализует свои электрические параметры. Дефицит и низкое качество кассет с магнитными лентами как типа МЭК I, так и МЭК II, отсутствие лент типа МЭК IV ограничивает возможности использования такой аппаратуры.

Улучшить электроакустические параметры кассетной аппаратуры можно введением системы динамического подмагничивания (СДП). Эта система поддерживает линейность АЧХ — канала магнитной записи на высших частотах при увеличении уровня записи, а ее работа основана на динамическом изменении (адаптации) так подмагничивания в зависимости от уровня и спектрального состава записываемого сигнала. Введение СДП поднимает максимальный уровень записи на высших частотах примерно на 12 дБ, при этом качество записи на ленте МЭК I эквивалентно записи на "металлической" ленте. Кроме того, реальный динамический диапазон вследствие повышения перегрузочной способности на высоких частотах при использовании СДП дополнительно расширяется на 6...8 дБ.

Динамическое подмагничивание обеспечивает оптимальный ток подмагничивания, позволяющий снизить искажения в динамическом режиме при записи самых критических (с резкими изменениями уровня высокочастотных составляющих) музыкальных программ, а также снижает интермодуляционные искажения высокочастотных составляющих сигнала.

Система динамического подмагничивания позволяет использовать ее с любыми магнитными головками и лентами в любых, в том числе и катушечных, магнитофонах при разных скоростях движения ленты.

В катушечном магнитофоне "Астра-110 стерео" применена система адаптируемого подмагничивания с автоматическим прямым регулированием тока подмагничивания (эффективный частотный диапазон не уже 25...28 000 Гц). К сожалению, это эффективное средство линеаризации канала магнитной записи не нашло пока широкого признания в промышленных моделях отечественного производства.

Кассетные магнитофоны по своим параметрам не уступают катушечным. Однако слушатель, как правило, отдает предпочтение звучанию фонограммы катушечных магнитофонов, особенно если записываемая программа имеет подчеркнуто высокий уровень высокочастотных составляющих (рок- и диско-музыка). В чем же дело?

Одна из главных причин — большое различие в перегрузочной способности катушечных и кассетных магнитофонов в области высших частот: у катушечного магнитофона при скорости 19,05 см/с частотная характеристика максимального выходного уровня проходит выше среднестатистического частотного спектра записываемого сигнала, а у кассетного (и катушечного при скорости 9,53 см/с) намного ниже. В результате магнитофоны с низкими скоростями ленты при уровнях записи, близких к номинальному для средних частот, звучат на высоких частотах глухо, неестественно, с режущими слух искажениями.

Для некоторого уменьшения таких искажений обычно снижают общий уровень записи, а при воспроизведении поднимают уровень высоких частот регулятором тембра. Однако в этом случае заметно повышается относительный уровень шумов и помех.

КАТУШЕЧНЫЕ МАГНИТОФОНЫ

В настоящее время доля катушечных магнитофонов в общем объеме выпуска аппаратуры магнитной записи по стране составляет около 5 %. В ближайшие годы этот показатель будет падать и в производстве останутся катушечные аппараты высшей и первой группы сложности, рассчитанные на потребителей, предъявляющих особо высокие требования к качеству записи — воспроизведения.

Катушечные аппараты магнитной записи подразделяются на три группы сложности: приставки выпускаются высшей и первой групп сложности, магнитофоны — первой и второй групп сложности. Требования к катушечной аппаратуре ниже второй группы сложности не предусмотрены, так как такие магнитофоны сейчас в основном заменены кассетными.

Все катушечные аппараты двухскоростные (19 и 9 см/с), четырехдорожные, имеют сквозной канал запись — воспроизведение.

Основные параметры приведены в табл.18.

Таблица 18

Параметры	Норма по группе сложности		
	0-я (высшая)	1-я	2-я
Частотный диапазон, Гц, на линейном выходе, при скорости, см/с:			
19,05	25...22 000	31,5...20 000	40...18 000
9,53	40...18 000	40...16 000	63...16 000
Коэффициент детонации, %, не более при скорости, см/с:			
19,05	±0,08	±0,1	±0,2
9,53	±1,5	±0,2	±0,3
Коэффициент гармоник, на линейном выходе, %, не более	1,5	2,0	2,5
Отношение сигнал-шум в канвле запись — воспроизведение, дБ, не менее	60	58	56
Разделение между дорожками в диапазоне 250...6000 Гц, дБ	25	25	25

Как видно из таблицы, катушечные приставки высшей группы сложности по своим техническим характеристикам приближаются к профессионвльной аппаратуре, удовлетворяют запросам самых взыскательных любителей музыки. Перезаписывая музыку с грампластинок или делая запись стереофонической радиопередачи, владелец катушечного магнитофона может быть уверен, что копия почти не будет отличаться от оригинала. Катушечный магнитофон незаменим для любителей студии звукозаписи, для кинолюбителей при звуковом оформлении фильма, при проведении вечеров отдыха и т.п. Катушечные магнитофоны позволяют осуществлять монтаж фонограммы с помощью ножниц, тогда как в кассетных аппаратах не только невозможен монтаж, но сложно даже просто срастить порванную ленту.

К этому можно добавить, что среди любителей магнитных записей есть немало таких, которые много лет коллекционируют записи. Разумеется, самые редкие и старые

записи — на катушках. Если они монофонические, то их удобнее "хранить" в катушках: в катушечном магнитофоне каждую из четырех дорожек можно использовать по отдельности.

Катушечный магнитофон высшей группы — это сложное устройство. Например, широко распространенная приставка "Электроника 004" содержит 132 транзистора, 40 интегральных микросхем, 80 диодов, четыре оптрона, два семистора и другие элементы (основные технические характеристики современных моделей катушечной аппаратуры приведены в приложении 5). Такие аппараты отличаются блочно-модульной конструкцией, высокой степенью автоматизации упраления ЛПМ, широко развитой электроникой, коммутацией как в системах упрааления электромеханическими устройствами, так и в звуковом канале. Особенностью схемотехники катушечной аппаратуры является устройство электронико-логического управления, в котором формируются все основные команды управления отдельными узлами при оперативных переключениях режимов работы магнитофона. Данное устройство само отрабатывает все переходы от одного режима к другому, выдерживая временные соотношения подаваемых сигналов и предотвращая поломку магнитофона и деформацию магнитной ленты при ошибочном включении одновременно нескольких кнопок и в других ситуациях.

Катушечные аппараты выполняют в виде вертикально стоящей конструкции, поэтому применяют специальные электродвигатели, допускающие работу при горизонтальном положении оси ротора, а приемные и подающие узлы ЛПМ снабжены системой автоматической регулировки натяжения ленты. Такая конструкция ЛПМ позволяет использовать катушки с максимальным диаметром 270 мм.

Отдельные модели высококачественных приставок кроме обычных режимов ЛПМ имеют режим "Реверс" или "Автореверс" (воспроизведение фонограммы при движении магнитной ленты справа налево в любой момент или при окончании на ленте записанной программы). Реверсирование ведущего двигателя производится изменением полярности фазосдвигающей обмотки. В режиме реверса воспроизведение стереопрограммы производится с помощью дополнительной головки воспроизведения.

В некоторых моделях магнитофонов-приставок предусмотрен помимо обычного выхода дополнительный выход с регуляторами выходного напряжения, тембра, баланса для подключения активной АС.

Высококлассные катушечные аппараты имеют раздельные усилители записи и воспроизведения, т.е. сквозной канал. Это позволяет не только вести слуховой контроль фонограммы непосредственно во время записи, но и проводить комбинированные записи: синхронную двухканальную монофоническую запись от двух источников программ, запись с дорожки на дорожку, многократно синхронную запись, запись с эффектом "эхо", вписывание отдельных фрагментов или стирание записи в точно выбранном месте и др.

Катушечные магнитофоны комплектуют двумя электродинамическими микрофонами, например МД-52Б-СН. Технические характеристики последнего достаточно высокие: номинальный диапазон частот 50...15 000 Гц, неравномерность частотной характеристики 12 дБ, номинальное сопротивление нагрузки 250 Ом, стандартный уровень осевой чувствительности 74 дБ, характеристика направленности — кардиоид (односторонняя). Для регулировки катушечных магнитофонов выпускаются специальные контрольные ленты 6ЛМКР 4 длиной 270 м, на которых на скоростях 19 и 9см/с записаны сигналы с дикторским пояснительным текстом для проверки параметров магнитофона: средней скорости ленты и коэффициента детонации, угла наклона рабочего зазора воспроизводящей (универсальной) головки, усиления каналов воспроизведения, АЧХ каналов воспроизведения.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КАТУШЕЧНОГО МАГНИТОФОНА СО СКВОЗНЫМ КАНАЛОМ

Прилагаемая к магнитофону инструкция содержит лишь краткие сведения о технических данных и некоторые общие рекомендации по эксплуатации. Поэтому нередко возникают трудности в освоении, особенно такого сложного аппарата, как магнитофон высшей группы сложности. Для того чтобы разобраться в функциональной структуре такого аппарата, рассмотрим работу магнитофонной приставки "Идель-001". Упрощенная структурная схема изображена на рис. 19.

Разнообразные эксплуатационные возможности использования приставки при записи и воспроизведении обеспечиваются развитой системой коммутаций входных и выходных цепей, включающей выбор канала записи ("Канал 1", "Канал 2"); переключение входных источников (для каждого канала); переключение режимов работы ("Стерео", "Канал 1", "Канал 2","Моно"); переключение контроля записи ("Контроль по входу", "Контроль по выходу").

При записи с выхода "Звукосниматель" сигнал с делителя $Д_1$ через переключатель входов канала $В_1$ поступает на входной усилитель $ВУ_1$. Регулятором уровня устанавливается номинальный уровень записи сигнала. Сигнал через коммутационную плату $ПК_1$ поступает на усилитель записи $УЗ_1$. С усилителя записи усиленный и откорректированный сигнал подается на записывающую головку $ГЗ_1$. В записывающую головку с ГСП поступает высококачественный ток подмагничивания. С этого же генератора в головку стирания $ГС_1$ подается высокочастотный ток стирания. Записанный на магнитной ленте сигнал считывается воспроизводящей головкой $ГВ_1$. В предварительном усилителе $ПУ_1$ сигнал усиливается, корректируется и через коммутационную плату $ПК_2$ поступает на линейный усилитель $ЛУ_1$ усилителя воспроизведения $УВ_1$. С выхода $УВ_1$ сигнал через $ПК_2$ поступает на соединитель "Линейный выход", а также на соединитель для подключения головных телефонов и в индикатор $ИУ_1$ (для контроля записи в положении "Контроль по выходу"). Для контроля сигнала по входу индикатор с помощью переключателя контроля подключается через $ПК_1$ и $ПК_2$ к каналу записи после регулятора уровня $РУ_1$.

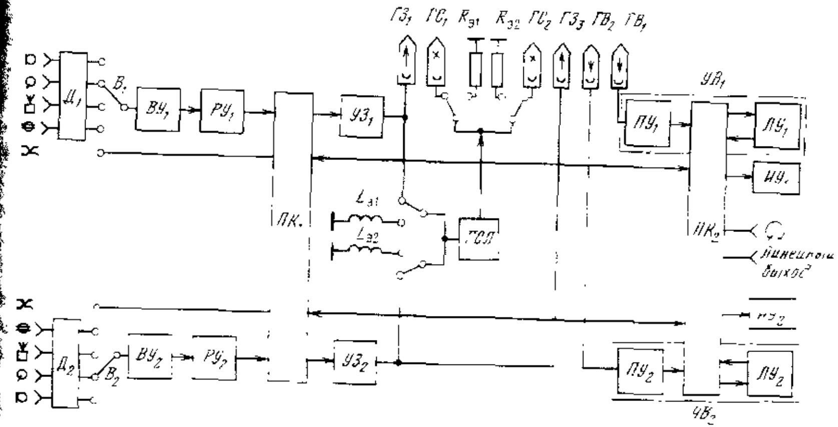


Рис. 19. Структурная … а катушечной приставки со сквозным каналом

Если пожертвовать стереоэффектом ради экономии ленты, то стереопрограмму можно записать монофонически по любому каналу. Для этого переключатель режима работы устанавливают в положение выбранного канала записи. Входной стереофонический сигнал суммируется через коммутационную плату $ПК_1$ и подается на усилитель записи выбранного канала. При записи, например, по каналу 1 напряжение питания подается из усилителя этого канала на генератор стирания и подмагничивания. Усилители канала 2 отключены, кроме входного усилителя. Вместо головки стирания $ГС_2$ подключается эквивалентное сопротивление $R_{э2}$, вместо головки записи $ГЗ_2$ — индуктивное сопротивление $R_{э2}$ (это необходимо, чтобы на запись, имеющуюся на другой дорожке, не воздействовало высокочастотное поле подмагничивания).

В магнитофонной приставке "Идель-001" предусмотрена возможность перезаписи стереофонической фонограммы на монофонический магнитофон. Для этого переключатель режимов следует установить в положение "Моно", тогда воспроизводимые сигналы обоих каналов будут суммироваться через коммутационную плату $ПК_2$ и монофонический сигнал поступит на выход магнитофона.

Запись монофонических программ проводится на четырех дорожках поочередно при изменении канала записи.

Интересные возможности открывает синхронная запись, предусматривающая двухканальную монофоническую запись программ от двух источников. При такой записи каждую программу записывают отдельно на свою дорожку, а воспроизводят одновременно с обеих дорожек в режиме "Стерео". Наиболее часто используют синхронную запись при озвучивании любительских фильмов. Для этого музыкальное сопровождение, например, с проигрывателя записывают по каналу 1, а на другую дорожку по каналу 2 — дикторский текст. При демонстрации фильма фонограммы воспроизводятся в режиме "Стерео" по разным каналам звуковоспроизведения.

При воспроизведении стереофонической фонограммы можно наложить (без записи) по одному из каналов другой сигнал от источника, подключенного ко входу магнитофона. Например, при воспроизведении фонограммы музыкального сопровождения кинофильма с помощью микрофона, подключенного к каналу 1, можно усилить речь комментатора.

При этом сигнал с микрофона поступает на усилитель $ВУ_1$ и далее на коммутационные платы $ПК_1$ и $ПК_2$, с последней — на выходной каскад $УВ_1$, где смешивается с начальным сигналом воспроизводимой стереопрограммы. Уровень громкости накладываемого сигнала регулируется регулятором уровня канала 1, уровень громкости воспроизводимой фонограммы — регулятором уровня канала 2. При таком наложении речь комментатора звучит на фоне музыки через один из громкоговорителей, через другой воспроизводится только музыка.

Рассмотрим возможность проведения специальных видов записей, таких как многократно синхронная с эффектом "эхо", перезапись с дорожки на дорожку.

При перезаписи фонограммы с дорожки на дорожку, например с канала 1 на канал 2, включают на запись канал 2, переключатель входных сигналов $В_1$ устанавливают в положение "Перезапись" и воспроизводят фонограмму по каналу 1. Сигнал с выхода предварительного усилителя $ПУ_1$ через коммутационную плату $ПК_2$ поступает на переключатель $В_1$ и далее на входной усилитель $ВУ_1$. Усиленный сигнал через регулятор уровня $РУ_1$, коммутационную плату $ПК_1$ поступает на вход усилителя записи канала 2, где и записывается на вторую дорожку. Регулятором уровня канала 1 устанавливают необходимый уровень записи, регулятором уровня канала 2 — положение, соответствующее минимальному уровню записи. Подобную перезапись проводят для упорядочения фонотеки, когда необходимо сохранить отдельные фрагменты фонограммы на одной дорожке, подлежащей стиранию.

Большие возможности для комбинированных записей открывает многократно синхронная запись. При такой записи возможно смешивание сигналов от различных источников способом перезаписи их с одной дорожки на другую с одновременной записью сигнала от другого источника, подключенного к входу канала записи. Для этого один канал, например канал 1, включают на воспроизведение, переключатель входного сигнала этого канала устанааливают в положение "Перезапись". К входу другого канала подключают источники сигнала, как и в предыдущем примере, поступает на вход усилителя записи канала 2, где он смешивается с сигналом, поступающим с входа этого канала, и записывается на магнитной ленте. Полученную таким образом комбинированную запись перезаписывают еще раз, скоммутировав цепь перезаписи с канала 2 в канал 1, одновременно смешивая с сигналом какого-либо другого источника, подключенного к входному усилителю канала 1, и т.д. Таким образом получают две монофонические фонограммы с многократным наложением, которые воспроизводят синхронно.

Рассмотрим запись монофонической программы с эффектом "эхо". Источник сигнала подключается, например, к входу канала 2, переключатель $В_1$ входов канала устанавливается в положение "Перезапись", и канал включается на запись. Сигнал со входа канала 2 поступает на регулятор уровня $РУ_2$ через $ПК_1$ и подается на вход усилителя записи канала 1. Сигнал записывается на магнитную ленту, воспроизводится с $УВ_1$ и поступает на линейный выход 1 магнитофона. Одновременно записанный сигнал с $ПУ_1$ через $ПК_2$ и переключатель $В_1$ поступает на входной усилитель $ВУ_1$. Усиленный сигнал через $РУ_1$ поступает на вход $УЗ_1$, записывается и воспроизводится с задержкой, определяемой временем движения ленты от записывающей до воспроизводящей головки канала 1. Регулятором уровня канала 2 устанавливают номинальный уровень записи, регулятором уровня канала 1 — глубину реверберации. Цикл повторяющихся перезаписей сигнала накладывается на основной сигнал, звук становится более объемным, пространственным, с характерным эффектом "эхо". Эффект особенно заметен при скорости движения ленты 19 см/с, при меньшей скорости время запаздывания сигнала увеличивается в 2 раза и характерный признак эффекта пропадает.

В заключение опишем возможность предварительного усиления стереофонической программы от внешнего источника, подключенного к магнитофону. При выключенном питании ЛПМ (режим "Останов") и включении режима "Стерео" сигнал от источника поступает на входные усилители, регуляторы уровня и далее через коммутационные платы $ПК_1$ и $ПК_2$ на линейные усилители обоих каналов воспроизведения магнитофона. С выхода УВ усиленный сигнал поступает на соединитель головных телефонов. Регуляторами уровня устанавливают необходимую громкость в каждом канале. Такую функциональную возможность магнитофона используют для прослушивания грампластинки с проигрывателя или радиопередач с тюнера.

Глава 6

УКВ РАДИОВЕЩАНИЕ—ИСТОЧНИК МУЗЫКАЛЬНЫХ ПРОГРАММ

РАДИОВЕЩАНИЕ В УКВ ДИАПАЗОНЕ

Радиовещание в УКВ диапазоне с частотной модуляцией является пока единственным способом передачи звуковых программ по радио практически без искажений, с очень низким уровнем помех и возможностью получения широкой полосы пропускания, определяющей частотный диапазон передачи. Радиовещание с амплитудной модуляцией, которое ведется в диапазонах длинных, средних и коротких волн, не может конкурировать по качеству с УКВ вещанием, так как передает относительно узкий диапазон звуковых частот и подвержено сильному влиянию промышленных и атмосферных помех, а также взаимных помех между соседними по частоте радиостанциями. В то же время зона обслуживания радиостанции в УКВ диапазоне невелика и ограничена практически зоной прямой видимости (в радиусе примерно 70 км, зависимости от высоты передающей антенны).

Основные параметры системы УКВ радиовещания, используемой в нашей стране:

диапазоны частот, отведенные для радиовещания, 65,8...74,0 МГц (длина волны 4,56...4,06 м) и 100,0...108,0 МГц (3,00 — 2,78 м):

максимальная девиация (отклонение) частоты ±50 кГц;

диапазон передаваемых звуковых частот 30...15000 Гц;

постоянная времени предыскажений 50 мкс;

минимальный разнос несущих частот радиостанций, работающих в соседних зонах, при передаче одинаковых программ 120 кГц, при передаче разных программ 180 кГц.

Вещательная УКВ радиостанция обычно содержит несколько передатчиков, каждый из которых передает свою программу. Колебания с выхода каждого передатчика подаются через разделительный фильтр на общую антенну.

Основные качественные показатели современных радиовещательных УКВ передатчиков: нестабильность несущей частоты не более $\pm 2 \cdot 10^{-5}$; отклонение АЧХ не более ±1 дБ в диапазоне модулирующих частот 30...15 000 Гц; коэффициент гармоник не более 1 % в диапазоне модулирующих частот 100...10 000 Гц и 1,5...2,0 % в диапазоне 30...15 000 Гц; отношение сигнал-шум не менее 60 дБ; уровень, сопутствующий паразитной амплитудной модуляции, не выше 2,0 %.

Наиболее качественную передачу в УКВ диапазоне обеспечивает стереофоническое радиовещание.

Существует несколько систем стереофонического радиовещания. В нашей стране используется система с *полярной модуляцией*. Основное преимущество этой системы — относительная простота и дешевизна радиоприемного устройства.

В стереофоническом радиовешании с полярной модуляцией предварительно происходит амплитудная модуляция так называемой поднесущей частоты, которая равна 31,25 кГц*.

Принцип полярной модуляции заключается в том, что поднесущая частота модулируется по амплитуде таким образом, чтобы верхняя ее огибающая представляла собой низкочастотный сигнал канала А, нижняя огибающая — сигнал канала В.

* При передаче звукового диапазона 30...15 000 Гц несущая частота должна по крайней мере в 2 — 3 раза превышать верхнюю модулирующую частоту диапазона. Большая частота поднесущей невыгодна, так как при этом расширяется диапазон частот, занимаемый радиостанцией.

В результате общий частотной спектр полярно-модулированных колебаний состоит из звуковой области (30...15 000 Гц), занятой спектром суммарного сигнала каналов (А + В), и надзвуковой области (ограниченной частотой 46,25 кГц) — спектром разностного сигнала тех же каналов (А — В).

Недостаток системы стереофонической радиопередачи с полярной модуляцией — повышенный уровень шумов, основная мощность которых при частотно-модулированном приеме сосредоточена в области верхних частот. Чтобы увеличить отношение сигнал-шум, полярномодулированные колебания подвергают специальной обработке: частично подавляют поднесущую частоту (уменьшают амплитуду соответствующего спектра с последующим восстановлением на стороне приема), а также вносят предыскажения для верхних модулирующих частот в каналах А и В.

Обработанные таким образом полярно-модулированные колебания называют комплексным стереосигналом (КСС). Все преобразования выполняются в специальном устройстве — стереокодере (СК). Основная несущая частота передатчика модулируется комплексным стереосигналом и через УКВ ЧМ передатчик излучается в эфир (рис.20).

ПРИЕМ РАДИОПЕРЕДАЧ В ДИАПАЗОНЕ УКВ

Существует целый ряд бытовых радиоприемных устройств: радиовещательные приемники, тюнеры, радиолы, магнитолы, магниторадиолы, предназначенные для прослушивания передач радиовещательных станций.

В состав радиоприемного устройства могут входить АЧ тракт приема программ радиовещательных станций в диапазоне ДВ, СВ и КВ с амплитудной модуляцией, а также ЧМ тракт приема в УКВ диапазоне с частотной модуляцией.

Радиоприемник частотно-модулированных сигналов имеет в основном такие же каскады, как радиоприемник амплитудно-модулированных сигналов. Принципиальное отличие заключается в том, что вместо амплитудного детектора радиоприемник частотно-модулированных сигналов имеет частотный детектор, преобразующий модулированное по частоте высокочастотное напряжение в напряжение низкой частоты, воспроизводящее закон модуляции.

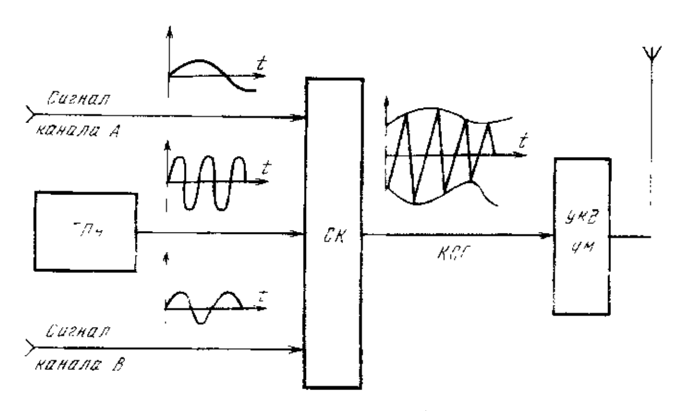


Рис. 20. Важнейшие элементы стереофонического вещания

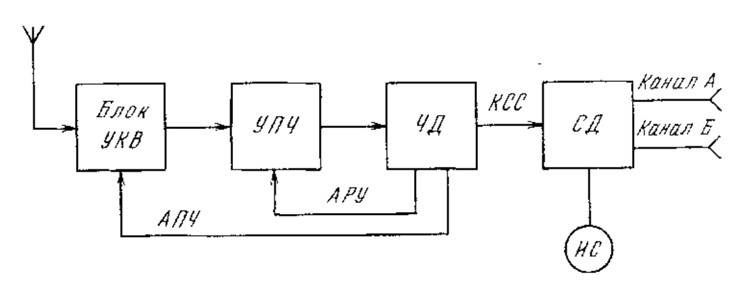


Рис. 21. Структурная схема стереофонического тюнера

Структурная схема стереофонического приемника приведена на рис. 21. Входной высокочастотный сигнал, как и в обычном приемнике, поступает с антенны на блок УКВ, где усиливается и преобразуется в промежуточную частоту. С выхода усилителя промежуточной частоты (УПЧ) сигнал поступает на частотный детектор (ЧД), который преобразует этот сигнал в низкочастотное модулирующее колебание.

При приеме монофонической передачи напряжение этого колебания, как обычно, поступает на УЗЧ и далее на громкоговоритель. Комплексный же стереосигнал с выхода ЧД поступает на выход стереодекодера (СД), который содержит цепи восстановления поднесущей частоты, коррекции предыскажений, вводимых при передаче, а также цепи преобразования в низкочастотные сигналы. Для получения хорошего стереоэффекта необходимо сохранить амплитудные и фазовые соотношения между составляющими КСС, чтобы амплитудно-частотная характеристика на выходе ЧД была горизонтальной во всем диапазоне модулирующих частот (неравномерность АЧХ в приемниках высшей и первой групп сложности не превышает 1...2 дБ).

Для улучшения АЧХ вводят отрицательную обратную связь с выхода ЧД в цепь автоматической подстройки частоты гетеродина (АПЧ). Блок АПЧ позволяет также поддерживать настройку на выбранную станцию.

Для поддержания постоянства условий приема при изменениях уровня сигнала постоянное напряжение с выхода частотного детектора выделяется и подается на дополнительный вход УПЧ для регулировки усиления (АРУ). В результате действия АРУ на вход УПЧ поддерживается оптимальная для детектирования амплитуда сигнала ПЧ, практически не зависящая от силы полезного сигнала на входе приемника. Глубина регулировки усиления УПЧ вследствие действия устройства АРУ достаточно велика. В приемниках 0-й группы сложности сигналы слабых станций усиливаются примерно в 350 раз (на 50 дБ) больше, чем сигналы сильных станций.

В стереоприемнике устанааливается индикатор (ИС) наличия стереопередачи ("моно-стерео") в зависимости от того, какая передача идет в данное время.

Практические советы. Встроенная в радиоприемник антенна не всегда может обеспечить хорошее качество приема радиопередач в диапазоне УКВ в городских условиях из-за большого числа отражений сигнала от соседних зданий. Отраженные сигнвлы создают фазовые сдвиги, являющиеся причиной низкого качества приема. В городе приемник можно подключить к коллективной телевизионной антенне. Абонентский отвод от коллективной антенны выполняется коаксиальным телевизионным кабелем так же, как отвод для телевизора.

Большие сложности для качественного воспроизведения радиопередач возникают при приеме на краю зон обслуживания данной радиостанции и тем более за ее пределами. При слабых полях отношение сигнал-шум на выходе приемника становится небольшим, преимущество ЧМ выражено не так ярко и поэтому важно обеспечить хорошее подавление шума и мешающих сигналов.

В условиях слабых полей большую роль играет чувствительность приемника. Напряженность поля на краю зоны обслуживания 200...250 мкВ/м, в помещении (железобетонная кладка) поле падает примерно на 20 дБ, т.е. доходит до 20 мкВ/м.

В связи с ухудшением отношения сигнал-шум при стереоприеме и повышенной чувствительностью к помехам от многолучевого распространения в местностях со слабой напряженностью поля УКВ радиостанции целесообразно применять многоэлементные антенны, укрепляемые на высокой мачте. Антенну ориентируют в сторону прихода радиоволн, стараясь избегать направления, в котором поступают индустриальные помехи. Вблизи магистралей с оживленным движением антенну лучше устанавливать параллельно магистрали, ограничивая по возможности высоту, для снижения следует применять косксиальный фидер.

ПАРАМЕТРЫ РАДИОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

Качество радиоприемников определяется их электрическими и акустическими параметрами, из которых наиболее важными яаляются диапазон воспроизводимых частот, коэффициент гармоник, чувствительность. Напомним, что чувствительность характеризует способность приемника принимать слабые сигналы. Чем меньше ЭДС сигнала, необходимого для получения заданной мощности, тем выше должна быть чувствительность приемника, тем больше его способность принимать слабые сигналы далеких станций. Если прием предполагается производить при небольших расстояниях от УКВ передатчика (10...30 км), то чувствительность приемника не имеет существенного значения. Однако при очень сильных полях приемник должен обладать хорошей помехоустойчивостью, так как возможно образование паразитных комбинационных частот приема.

Существенное значение в работе приемника имеет избирательность по соседнему каналу, т.е. способность ослабления сигнала мешающей станции по отношению к полезному сигналу. В диапазоне УКВ избирательность у приемников высшей и первой групп сложности не ниже —60 дБ.

Хороший стереоэффект может обеспечить только приемник, имеющий переходное затухание на частоте 1000 Гц, не менее 30 дБ. На крайних частотах звукового диапазона требования несколько ниже.

Отношение сигнал-шум в стереорежиме в высокочастотных приемниках не превышает 60 дБ, что обеспечивает бесшумный прием даже в паузах модуляции при уверенном приеме.

По электрическим, электроакустическим параметрам и комплексу потребительских удобств радиоприемники делятся на четыре группы сложности: 0-ю (высшую), 1-,2-,3-ю (ГОСТ 5651 — 82). Тюнеры выпускаются только высшей и 1-й групп сложности. В радиоприемных устройствах всех групп сложности, кроме 3-й, обязательно предусмотрен УКВ диапазон.

Нормы на основные параметры радиоприемных устройств в диапазоне УКВ приведены в табл. 19.

Таблица 19

Параметр	Норма по группе сложности		
	0-я (высшая)	1-я	2-я
Диапазон частот, МГц (м):			
УКВ-1	65,8...74,0 (4,56...4,06)		
УКВ-2	100,0...108,0 (3,00...2,78)		
Чувствительность по входу для внешней антенны, мкВ	2	5	5
Диапазон воспроизводимых частот по электрическому напряжению при неравномерности 3 дБ, Гц, не уже	20...15 000	31,5...15 000	50...12 500
Диапазон воспроизводимых частот по звуковому давлению при неравномерности 14 дБ для стационарных устройств	31,5...15 000	50...15 000	100...8000
Коэффициент гармоник в стереорежиме по электрическому напряжению, %	3	4	5
Разделение стереоканалов, дБ (на частоте 1000 Гц), не менее	36	30	30
Пределы регулирования стереобаланса, дБ, не менее	8	6	6
Отношение сигнал-шум в стереофоническом режиме, дБ, не менее	60	50	46

ТЮНЕРЫ

Функционально-блочное конструирование БРЭА привело к выпуску принципиально новой аппаратуры в виде самостоятельных блоков — тюнеров, которые выполнены по супергетеродинной схеме моно-и стереофонического радиоприема.

В структурной схеме тюнеров в отличие от радиоприемников отсутствуют блоки усиления низкой частоты и АС. Поэтому этот вид аппаратуры называют еще настроечным устройством, так как самостоятельно воспроизводить сигналы они не могут. С их помощью можно точно настроиться на радиостанцию и контролировать принятый сигнал головными телефонами.

Промышленностью выпускается более 10 моделей тюнеров, в основном всеволновые ("Ласпи-005-1", "Эстония-011", "Орбита Т-002", "Радиотехника Т-7102" и др.), а также предназначенные для приема в диапазонах СВ и УКВ ("Корвет-010", "Эстония-010", "Корвет-104") и только в диапазоне УКВ ("Ласпи-003", "Прибой-114"). Изготавливаются тюнеры-усилители, состоящие из двух блоков: тюнера и усилителя звуковой частоты ("Ласпи-003", "Ласпи-Т-010").

Все тюнеры имеют розетки для подключения внешней антенны и магнитофона на запись, предусмотрены автоподстройка частоты и автоматическое переключение "Моно — стерео".

Широко применяют различные по назначению индикаторы: точной настойки, наличие стереопередачи, рода работы ("Моно — стерео"),

многолучевого приема, уровня сигнала и др. При приеме стереопередач удаленных радиостанций предусматривается режим "Дальнего стерео", обеспечивающий снижение высокочастотных шумов. В последних моделях тюнеров предусмотрен калибратор напряжения для точной установки записи на магнитофоне.

Один из распространенных тюнеров "Ласпи-005" состоит из двух отдельных блоков — всеволнового тюнера и усилителя звуковой частоты.

Тюнер имеет семь фиксированных настроек на заранее выбранные радиостанции в любом диапазоне, электронно-цифровую индикацию частоты принимаемой станции. В УКВ диапазоне обеспечивается автоматическая подстройка частоты, а также бесшумная настройка, автоматическое переключение режимов "Моно — стерео", световая индикация наличия стереопередачи. Тюнер имеет встроенную магнитную антенну.

Усилитель включает в себя пятиполосный регулятор тембра; систему коммутации, позволяющую подключать два магнитофона (для записи и воспроизведения); электропроигрыватель; две пары головных телефонов; четыре АС — две основные и две дополнительные; регуляторы стереобаланса и стереобазы; отключаемую тонкомпенсацию и индикатор мощности каждого канала.

Полоса воспроизводимых частот 20...20 000 Гц, номинальная выходная мощность (4 Ом) 2×25 Вт, переходное затухание между каналами 50 дБ; коэффициент нелинейных искажений (1 кГц) 0,3 %.

Одна из последних моделей настроечных радиоустройств — тюнер "Орбита — 003 стерео", предназначенный для приема моно-и стереофонических радиовещательных станций, работающих в диапазоне УКВ и звукового сопровождения программ телевидения в метровом диапазоне (каналы 1 — 12).

Отличительной особенностью тюнера является наличие 12 фиксированных настроек (шесть в диапазоне УКВ и шесть в диапазоне ТВ), что позволяет обеспечить прием и запись на магнитофон программ Центрального радио и телевидения, а также программ местных радио-и телецентров. При этом качество приема (записи) звукового сопровождения ТВ программ улучшается вследствие устранения помех со стороны развертывающего устройства телевизора. Использованная в стереодекодере микросхема позволяет получить большое разделение каналов и малый коэффициент нелинейных искажений. Система коммутации тюнера обеспечивает бесшумное включение — отключение, а также переключение фиксированных настроек и диапазонов.

Диапазон принимаемых частот, МГц: УКВ — 65,8...74; ТВ1 — 56,25...99,75; ТВ2 — 181, 75...299,75.

Тюнер имеет ряд потребительских удобств: псевдосенсорное управление, режим псевдостерео, подавитель коммутационных щелчков, светодиодную индикацию режимов.

В приложении 6 приведены технические характеристики отечественных моделей стационарных тюнеров и тюнеров-усилителей.

Глава 7

ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ ЗАПИСИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЗВУКА

Высокое качество звуковоспроизведения сегодня обеспечивается цифровыми способами записи и обработки сигнала.

Первыми звукотехническими устройствами, в которых нашла применение цифровая техника, стали линии временной задержки звуковых сигналов. Они применяются для создания псевдостереофонических записей, а также в системах озвучивания больших помещений.

На смену механическим и магнитным ревербераторам пришли цифровые, обладающие широкими возможностями создания различных звуковых эффектов. Широко

используются электронные музыкальные синтезаторы, в основе которых цифровая система синтеза, обработки, хранения, преобразования звуковой информации.

За последние годы наиболее широкое развитие получило производство цифровых проигрывателей и цифровых грампластинок.

ЦИФРОВАЯ МАГНИТНАЯ ЗВУКОЗАПИСЬ

Цифровая техника открыла принципиально новые возможности перед звукозаписью. Ведущие фирмы мира в области звукозаписи направили усилия на создание широкого класса цифровых устройств, включая студийную и портативную аппаратуру магнитной записи.

Частотная характеристика и динамический диапазон цифровой аппаратуры магнитной записи не зависят от физических свойств магнитной ленты и характеристик магнитных головок. Качественные показатели такой аппаратуры значительно превышают соответствующие показатели аналоговых магнитофонов (табл. 20).

Таблица 20

Параметры аппаратуры магнитной записи	Аналоговая	Цифровая
Рабочий диапазон частот, Гц	30 ... 20 000	20 ... 20 000
Неравномерность частотной характеристики, дБ	3,0	0,3
Коэффициент гармоник, %	1,5	0,05
Отношение сигнал-шум, дБ	65	90
Коэффициент детонации, %	0,05	Не поддается измерению

Такие характеристики аналоговой магнитной записи, как переходные помехи между каналами, уровень стирания, копирэффект на магнитной ленте, при цифровой записи практически отсутствуют.

Основное достоинство цифрового магнитофона — возможность получения воспроизводимого сигнала практически без искажений, детонации и шумов. Это определяет другое важное преимущество цифрового магнитофона — возможность многократно перезаписывать оригинал фонограммы без потери качества: пятая, десятая, двадцатая копии фонограммы звучат так же, как оригинал. Последнее свойство цифровой записи особенно важно в студиях грамзаписи, радиовещания, телевидения, кино, где в процессе подготовки и формирования программ требуется многократная перезапись отдельных фрагментов и программ. Появилась возможность надежного хранения фондовых материалов, перезапись с которых через длительное время возможна без ухудшения качества.

Возникает вопрос: если цифровая звукозапись обладает такой высокой разрешающей способностью, почему она не использовалась в прошлом для высококачественной звукозаписи? Ведь преобразование аналоговых электрических сигналов в цифровую форму было известно давно.

До недавнего времени цифровая техника (второе и третье поколение электронных вычислительных машин) не удовлетворяла требованиям быстродействия для высококачественной звукопередачи. Принципиально новые возможности для цифровой звукозаписи открылись при применении микропроцессоров. Большая емкость памяти

быстродействие, высокая точность кодирования в интегральных схемах позволили получить высококачественную запись звука.

Кратко напомним принципы цифровой записи.

Среди различных систем цифрового кодирования аналогового сигнала для высококачественной записи музыкальных программ общепринят метод импульсно-кодовой модуляции. При реализации этого метода необходимо решить две проблемы. Первая — преобразовать аналоговый входной сигнал в цифровую форму и записать его в закодированном виде на магнитную ленту. Вторая — при воспроизведении обеспечить безошибочное декодирование цифрового сигнала в аналоговый. Эти задачи в цифровом магнитофоне выполняют специальные электронные устройства: аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и цифроаналоговый преобразователь (ЦАП). Все операции обработки сигналов в преобразователях осуществляются с помощью устройств, используемых в ЭВМ.

Поскольку в музыкальной программе присутствует спектр колебаний с многочисленными вариациями частотных компонентов и амплитуд, то для получения преимуществ цифровой записи используются преобразователи с высокой степенью точности.

Ясно, что прежде чем аналоговый сигнал будет закодирован, его надо сделать дискретным — разбить на отдельные импульсы, представляющие амплитуды напряжения сигнала в данный момент.

Специальное устройство дискретизации через равные промежутки времени осуществляет выборку мгновенных значений аналогового сигнала и запоминает их в течение времени, необходимого для преобразования их в цифровой код.

Известно, что если аналоговый сигнал расчленить равномерно, с частотой по крайней мере вдвое большей наивысшей частоты сигнала, то можно восстановить оригинальный сигнал без потери информации. Это означает, что если частотный диапазон записываемой программы, равный 20 Гц ... 20 кГц, дискретизировать с минимально допустимой частотой 40 000 Гц, то аналоговый сигнал может быть точно воспроизведен с ничтожными искажениями. Каждый отобранный импульс сравнивается с принятой шкалой дискретных уровней и округляется до ближайшего эталонного значения. Эта операция называется *квантованием*.

Шкала дискретных уровней охватывает весь диапазон напряжений входного сигнала. Число квантовых уровней шкалы выражается в двоичной системе счисления в виде 2^n (где n — число разрядов). При ограниченном числе уровней квантования на выходе цифрового магнитофона появляется так называемый шум квантования. В конечном счете число делений шкалы квантования определяет динамический диапазон, который может обеспечить цифровой магнитофон.

Частоту дискретизации и число разрядов выбирают исходя из требований, предъявляемых к воспроизводимому сигналу. При передаче через канал запись — воспроизведение цифрового магнитофона звукового сигнала с динамическим диапазоном 80 дБ требуемое число уровней квантования — 2^{14} (14 разрядов), для передачи динамического диапазона 90 дБ — 2^{16} (16 разрядов).

Для того чтобы выходной сигнал соответствовал входному, требуется обеспечить не только заданную точность преобразования, но и соответствующую точность записи сигналов. То есть, для неискаженной передачи сигнала необходимо обеспечить его помехоустойчивость. Для этого на заключительном этапе преобразования аналогового сигнала в цифровую форму осуществляется кодирование.

Суть цифрового кодирования заключается в том, чтобы каждый квантованный уровень выражался определенной комбинацией двоичных цифр. Каждому разряду

соответствует последовательность двоичных цифр, представляемая в виде стандартных электрических импульсов, имеющих вполне определенную длительность. Двоичные числа, соответствующие одному циклу дискретизации, образуют кодовое слово или комбинацию. И если число разрядов 16, то для одного кодового слова требуется 16 двоичных чисел (битов).

Таким образом, вместо записи импульса квантованного сигнала осуществляется запись закодированного числового значения этого импульса, соответствующего его амплитуде. Закодированные импульсы считываются магнитной головкой, декодируются в ЦАП, и сигналу возвращается аналоговая форма.

Отметим принципиальное различие между цифровым и аналоговым методами. При аналоговом методе условия записи сказываются на качестве параметров воспроизводимого сигнала. При цифровом методе ухудшение параметров в определенных пределах не будет оказывать влияния на считываемый сигнал. В конечном итоге цифровой импульс несколько изменит свою форму из-за искажений в канале записи или действия случайных помех, но это не имеет принципиального значения (рис. 22). Однако это не означает, что в цифровой записи вообще отсутствуют искажения. Часть искажений происходит вследствие выпадения сигналов в процессе записи — воспроизведения и при сбоях синхронизации. Некоторые искажения появляются в процессе преобразования сигналов в устройствах АЦП и ЦАП.

Наметилось несколько групп конструкций цифровых магнитофонов. В первой группе используется комплект, состоящий из кассетного аналогового видеомагнитофона с наклонно-строчной записью, и цифровой звуковой процессор, выполняющий функции АЦП и ЦАП. Основные показатели процессора нормированы, что позволяет использовать фонограммы, записанные на разных видеомагнитофонах. К достоинству такого способа цифровой записи относится возможность использования серийно выпускаемых видеомагнитофонов.

Ко второй группе цифровых магнитофонов относятся многоканальные магнитофоны с продольной записью, неподвижными магнитными головками, с использованием ленты шириной 6,3 мм. Многоканальность предполагает наличие в магнитофоне нескольких (по числу дорожек) усвлителей записи, воспроизведения и канальных преобразователей. Такие магнитофоны содержат генератор временного и управляющего кода, который несет в себе информацию о текущем времени, служебную информацию о режимах записи и характеристиках преобразования сигналов (об используемых предыскажениях, частоте дискретизации и т. п.) и информацию, предусматриваемую звукорежиссером. Код записывается на ленту одновременно с программой. При воспроизведении информация, заложенная в коде, используется для автоматического управления функциями магнитофона и для осуществления электронного монтажа. К достоинствам цифровых магнитофонов с продольной записью следует отнести достаточно простой ЛПМ с минимальным количеством движущихся узлов и небольшую скорость записи (19,05 см/с), которая способствует увеличению срока службы магнитных головок и ленты.

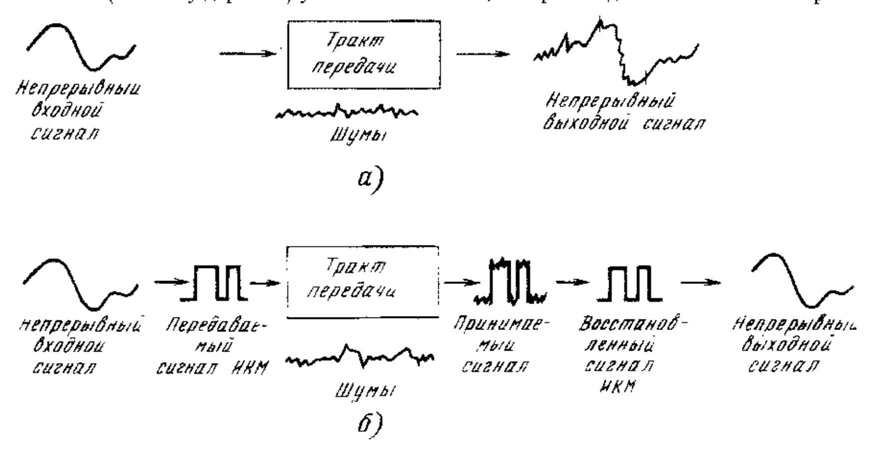


Рис. 22. Передача звука аналоговым (*а*) и цифровым (*б*) методами

Эксплуатационные преимущества этих магнитофонов — возможность многодорожечной записи при синхронном сведении каналов и вписывании отдельных фрагментов, а также механического монтажа с помощью резки и склейки магнитной ленты. Для облегчения последнего на многих цифровых магнитофонах имеется один или два канала параллельной аналоговой записи.

В практике нашли применение цифровые магнитофоны для записи сигналов от 2 до 24 цифровых источников звука с использованием магнитной ленты шириной 6,3; 12,7 мм.

КАССЕТНЫЙ ЦИФРОВОЙ МАГНИТОФОН

Цифровой кассетный магнитофон относится к новому поколению звуковой аппаратуры и является одним из выдающихся открытий в этой области со времени появления цифровой грампластинки (компакт-диска). Новая цифровая система обладает не только всеми достоинствами компакт-дисков (частотным и динамическим диапазонами, возможностью программирования режимов), но и возможностью многократной записи и стирания, причем без ухудшения качества. Система получила название DAT-Digital audio tape — цифровая звуковая лента.

Существует два типа цифровых магнитофонов: S-DAT (stationar. head — "неподвижная головка") и R-DAT (rotapy head — "вращающаяся головка"). В их основе два разных технических решения перемещения ленты относительно магнитной головки.

В системе S-DAT используется принцип, применяемый в накопителях информации для ЭВМ — запись ведется сразу на 20 параллельных дорожках. На каждой записывается один разряд 20-разрядного двоичного числа, которым кодируются уровни аналогового сигнала, т. е. записывается вли считывается одновременно, параллельно все слово из 20 импульсов. На ленте имеются еще две вспомогательные дорожки для систем управления магнитофона. В едином конструктивном узле расположены одна над другой чрезвычайно узкие (около 60 мкм каждая) магнитные головки.

Технология производства тончайшей мембранной магнитной головки для магнитофона S-DAT сложнее, чем технология производства полупроводниковых приборов.

Более перспективным оказался магнитофон типа R-DAT, плотность записи которого на порядок выше, что обеспечивает снижение расхода магнитной ленты. В его основе лежит принцип, применяемый в видеомагнитофонах (рис. 23). Лента движется сравнительно медленно (8,15 мм/с), а вращающийся барабан с магнитными головками осуществляет запись на наклонных дорожках или считывание с них. Скорость вращения барабана 2000 об/мин. Магнитная головка механического контакта с лентой не имеет, между ними микронный промежуток.

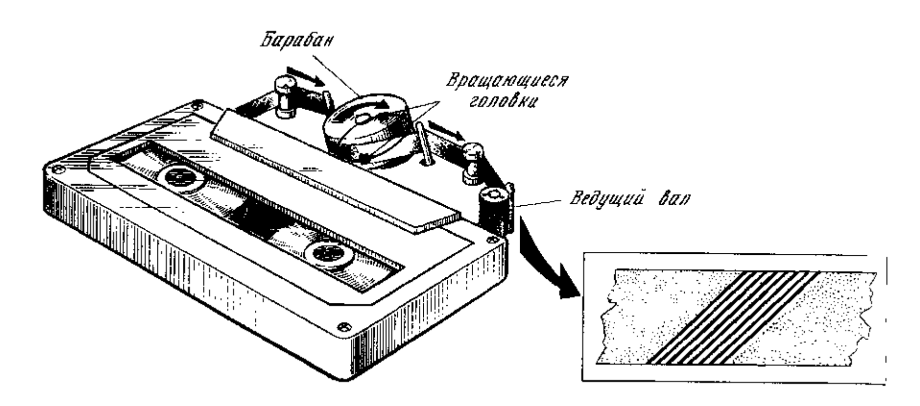


Рис. 23. Система цифровой записи

Цифровой магнитофон R-DAT — это малогабаритный переносной аппарат. Кассета вмещает двухчасовую музыкальную программу, записанную по самому высокому классу.

Блок-схема магнитофона в режиме записи включает входной усилитель-аттенюатор, аналого-цифровой преобразователь, фильтры, систему внесения предыскажений, кодер, усилитель записи, генератор тока подмагничивания, барабан с головками записи, систему нанесения кодовых меток, индикатор уровня записи.

Одно из основных достоинств магнитофона R-DAT заключается в возможности многократного дублирования фонограмм практически без потери качества, если перезапись производить непосредственно в цифровой форме.

Аналого-цифровой преобразователь может работать с тремя частотами дискретизации — 38; 44,1; 48 кГц. Первая частота используется для записи программ звукового сопровождения космического телевидения, спутникового цифрового радиовещания. Вторая применяется в компакт-дисках, DAT-кассетах, продающихся с записью. Основная частота дискретизации 48 кГц, применяется в стандартном режиме DAT и используется в профессиональной цифровой звукозаписи.

Высокие характеристики магнитофона определяются большим числом разрядов и быстродействием процессора импульсно-кодовой модуляции. Используется линейное квантование (16 бит) или нелинейное (12 бит). При этом возможны дополнительные скорости носителя записи, обеспечивающие вдвое большую или вдвое меньшую продолжительность воспроизведения.

При записи автоматически или вручную на магнитную ленту наносятся метки, соответствующие началу, концу или каким-то характерным участкам фонограмм. Это необходимо для работы системы поиска при воспроизведении, которая позволяет практически мгновенно (чуть медленнее, чем в компакт-диске) найти нужный фрагмент записи. Встроенный микропроцессор дает возможность запрограммировать любую последовательность воспроизведения фрагментов и произведений.

В процессе воспроизведений участвует система автотренинга, поддерживающая следование магнитных головок по строкам записи, автоматическая система упрааления ЛПМ, включающая высокостабильный генератор. Генератор задает также темп работы буферному каскаду, который позволяет сглаживать неравномерность потока информации в случае небольшого сбоя работы ЛПМ. Таким образом, детонация практически отсутствует — значение ее ниже пределов измерения и определяется только неравномерностью работы генератора.

Лента при поиске движется со скоростью в 60 или 180 раз больше нормальной при воспроизведении.

Сигнал с магнитных головок усиливается, поступает на формирователь импульсов, а затем на декодер — устройство, обнаруживаюшее и исправляющее ошибки. Теперь остается лишь преобразовать сигнал из цифровой формы в аналоговую и пропустить через НЧ фильтр с частотой среза 20 кГц. Это необходимо для подавления высших гармоник — продуктов преобразований в ЦАП.

Кассета магнитофона R-DAT чуть ли не в 2 раза меньше компакт-кассеты (размеры 73×54×10,5 мм), а конструктивно сходна с видеокассетой. Непосредственного доступа к ленте нет, в нерабочем состоянии она закрыта со всех сторон, что уменьшает вероятность ее загрязнения и повреждения. При установке в магнитофон кассета автоматически открывается, часть ленты вытягивается и обводится вокруг барабана. Угол охвата 90°. Используется лента типа МЭК IV с рабочим слоем из металлического порошка железа. Ширина ленты та же, что в компакт-кассете, — 3,81 мм, толщина 13 мкм. При этом время звучания в стандартном режиме составляет 2 ч. Ведется разработка более тонкой ленты для R-DAT, чтобы довести время звучания кассеты до трех часов.

Технология производства самой кассеты намного проще производства компакт-дисков, при этом значительно ниже процент брака, поскольку применяются традиционные методы обработки (литье под давлением, штамповка) и сборка.

Существует возможность выпускать кассеты с уже записанной фонограммой, причем скорость тиражирования может превышать реальную скорость воспроизведения в десятки и сотни раз.

Первые образцы новой техники появились в 1986 г., сегодня выпуск этой аппаратуры идет в десятках фирм Японии и других стран.

Типичный пример переносного цифрового кассетного магнитофона — модель ХД-001 фирмы Auba (Япония). В этом магнитофоне применены механизмы горизонтальной загрузки кассеты, прецизионный приводной узел в составе четырех прямоприводных электродвигателей (барабана, тонвала, левой и правой катушек), перемотка осуществляется со скоростью, в 200 раз превышающей рабочую. В электронной схеме используются сдвоенные независимые АЦП для левого и правого стереоканалов, а также сдвоенный ЦАП. Между внутренними каскадами и между микрофонным предусилителем и входной ступенью магнитофона использовано световодное соединение. Все контактные гнезда позолочены; монтажные провода из бескислородной меди; габаритные размеры 210×40×122 мм; масса без батарей 1,08 кг, с батареями 1,44 кг; потребляемая мощность 3,9 Вт; воспроизведенне в течение 2,5 ч.

Магнитофоны R-DAT уже используются в практической работе на отечественных студиях звукозаписи. Звукорежиссеры отметили блестящее качество звука, удобство в работе, высокую скорость поиска и, что не менее важно, компактность.

Производители компакт-дисков сразу поняли, что у них появился сильный конкурент. На R-DAT можно легко переписать содержание компакт-диска в цифровой форме, после чего тиражировать такие записи или выпускать компакт-диск. Распространение R-DAT угрожало снижением спроса на компакт-диски. Поэтому в законодательном порядке было решено не ввозить и не производить магнитофонов R-DAT без устройства, предотвращающего копирование компакт-диска.

В одном из вариантов антикопирования в полосе звуковых частот компакт-диска располагается острый глубокий провал АЧХ. Он выбирается на частоте выше средней, где заключается основная музыкальная информация и его легко можно было бы обнаружить на слух, однако не очень высоко, где работа системы обнаружения была бы ненадежной. Выбрана частота 3840 Гц. При записи на магнитофон система антикопирования сканирует некоторую область частот выше и ниже 3840 Гц. Если в результате анализа обнаружится, что есть частота, энергия сигнала на которой значительно меньше, чем на соседних, то автоматически на некоторое время (около 25 с) отключится ток подмагничивания и запись блокируется. Затем система возвращается в исходное состояние и поиск начинается снова.

Можно предполагать, что магнитофоны R-DAT составят конкуренцию проигрывателям компакт-дисков, которые в отличие от кассет DAT невозможно записать в домашних условиях. С другой стороны, вряд ли возможен для записи лучший источник, чем КД. Вероятно, стереокомплекс, состоящий из проигрывателя КД, магнитофона DAT и соответствующих громкоговорителей, сможет удовлетворить самого взыскательного меломана.

СИСТЕМА "КОМПАКТ-ДИСК"

В обычной грампластинке звуковые бороздки от соприкосновения с иглой проигрывателя быстро изнашиваются и при проигрывании возникают посторонние шумы, шорохи и потрескивания. Над этой проблемой работают конструкторы — уменьшают дааление иглы на диск пластинки, ищут оптимальные формы заточки. Проигрыватели становятся сложнее и дороже. Однако несмотря на это уберечь звук от искажений не удается.

Цифровой метод записи особо выявил несовершенство обычных аналоговых дисков. Модуляция звуковой канавки на пластинке осталась традиционной со всеми присущими ей шумами и искажениями, что снижает эффект применения цифровой записи. Особенно заметны шумы пластинки на тихих музыкальных пассажах и в паузах. Даже у нового, только что купленного диска, подготовленного с цифровой фонограммы прослушиваются шумы, тихие щелчки, потрескивания. Причем чем выше класс аппаратуры, тем ощутимее эти помехи (из-за лучших характеристик звукоснимателя).

Повысить качество звучания грампластинки оказалось сложно. Специалисты вынуждены были констатировать, что технология обычной механической записи практически достигла предела своих возможностей. Интенсивные совершенствования грамзаписи привели к принципиально новой системе регистрации звука — "компакт-диск".

Систему "компакт-диск" можно разделить на две системы — записи и воспроизведения. Сам компакт-диск (КД) имеет диаметр всего 12 см (примерно в 3 раза меньше обычной пластинки), толщину 1,2 мм, массу 10 г (в сравнении с диском гигантом: масса 130 г), площадь и объем соответственно 16 и 6,4% его площади и объема. Запись на диск выполняется только на одной стороне, длительность звучания может достигать 74 мин.

Воспроизведение компакт-дисков осуществляется на специальном проигрывающем устройстве, где вместо иглы применен лазерный луч. Сейчас компакт-диск — самый популярный носитель музыкальных записей.

С 1990 г. фирма "Мелодия", закупив лицензию, технологию и оборудование начала выпуск компакт-дисков (ГОСТ 27667 — 88) с доведением объема их производства в 1995 г. до 10 млн. штук. Поверхность компакт-диска блестящая, как зеркало, совершенно гладкая, без каких-либо канавок. Однако если взглянуть в микроскоп, то станут заметны мельчайшие продолговатые углубления (питы), образующие дорожку записи. Все они имеют одинаковую глубину (0,1 мкм) и ширину (0,5 мкм), изменяется лишь их длина (от 0,9 до 3,3 мкм) и расстояние между питами 0,5 мкм, шаг записи — полтора микрона (в 50 раз плотнее, чем у обычной пластинки).

Сам диск состоит из трех слоев (рис. 24): пластмассовой прозрачной подложки 1, несущей информацию; алюминиевой отражающей пленки 2, нанесенной на подложку; лакового акрилового непрозрачного защитного слоя 3 с этикеткой; цифрой 4 обозначены питы, образующие дорожку записи.

Таким образом, дорожка записи находится внутри диска и предохранена от повреждения. Дорожка с питами направлена по спирали от центра к краю диска. Внутренний диаметр зоны записи равен 45 мм, наружный 116 мм.

Всего концентрических дорожек с информацией около 20 000, общая длина примерно 5 км. На каждом миллиметре по радиусу умещается около 700 витков спирали — примерно в 70 раз больше, чем на обычной пластинке. Информация с диска считывается бесконтактным способом с помощью лазерного луча. Таким образом, вопрос о том, как сохранить пластинку, как уберечь ее от "запиливания", отпадает сам собой.

Компакт-диск не боится пыли, отпечатков пальцев на поверхности, не страшны ему и мелкие царапины. Все дело в том, что если на информационном слое диска луч фокусируется в пятно размером около одного микрона, то на его наружной поверхности диска размер его возрастает в тысячу раз — до 1 мм и мелкие дефекты на поверхности диска луч просто не замечает (рис. 25). Информационная емкость компакт-диска огромна — пять миллиардов бит (на обычной пластине — десятки миллионов бит). Все эти биты разделены на группы по 16 бит, которые представляют собой единицу кодирования звука.

Параметры кодирования информации компакт-диска соответствуют международному стандарту цифровой звукозаписи — частота дискретизации 44,1 кГц, число разрядов 16. На диске имеется три области: записи сигналов вводной дорожки, программной записи и записи сигналов выводной дорожки.

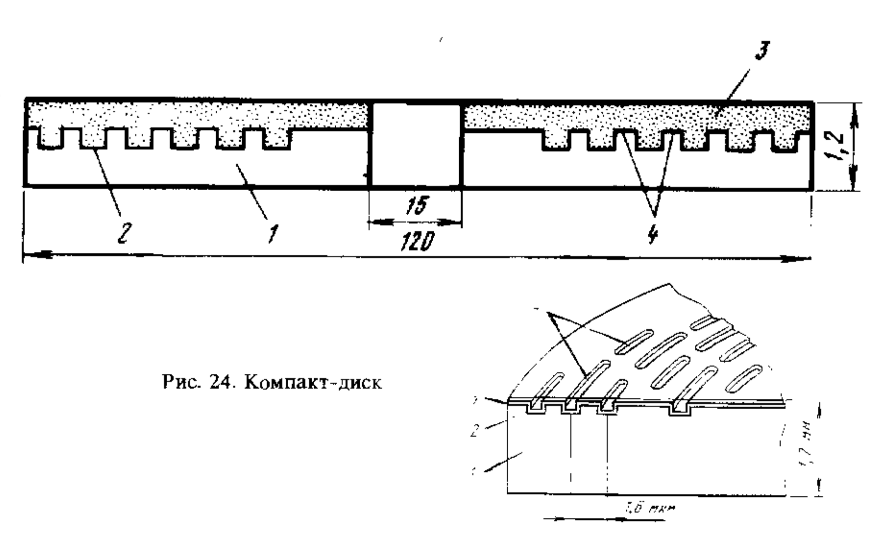


Рис. 24. Компакт-диск

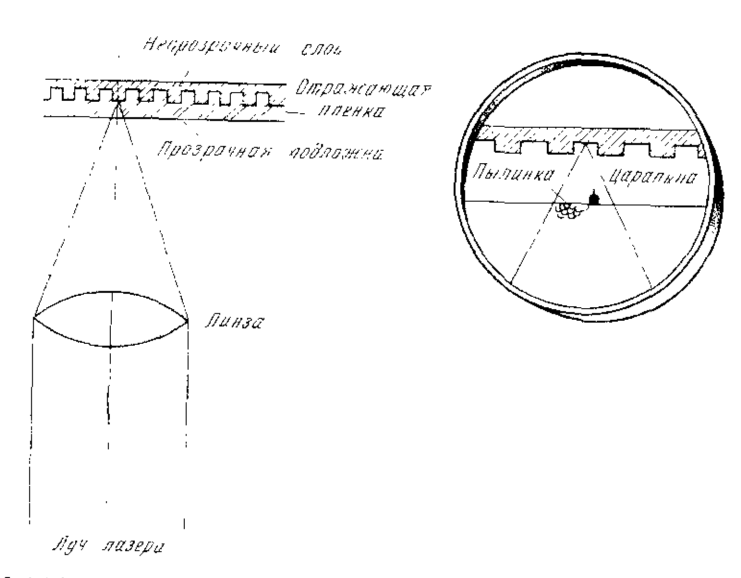


Рис. 25. Эффект фокусировки луча на дорожки записи

В области вводной дорожки записываются управляющие сигналы, сигналы коррекции ошибок и другая служебная информация. При считывании "оглавления" диска выдается номер и время начала записанного на грампластинку музыкального произведения и обеспечивается непосредственный доступ к выбранному музыкальному произведению.

В программной области помимо основной стереопрограммы в промежутках записываются справочные данные, касающиеся номера музыкальных произведений, время звучания (время записывается в минутах и секундах). В области выводной дорожки записываются управляющие сигналы на окончание цикла воспроизведения.

Из-за брака при прессовании или попадании пыли на информационную дорожку в цифровую запись компакт-диска могут вкрасться ошибки. Чтобы они не влияли на качество записи, предусмотрено помехоустойчивое кодирование информации.

Применяемый в системе компакт-диск метод позволяет исправлять группы ошибок длиной до 3548 бит (что соответствует 2,38 мм поверхности диска). Это означает, что на диске можно просверлить отверстие диаметром 2.38 мм и это никак не отразится на качестве воспроизводимого сигнала.

Имеется возможность записи на компакт-диск видеоинформации. Это позволяет одновременно с воспроизведением звука получать на экране цветного телевизионного приемника неподвижное изображение в виде одиночных кадров — названия музыкального произведения, стихов исполняемой песни, тематического видеосопровождения [illegible]. Для этого [illegible] применяемая ранее служебная информация*.

С учетом всех дополнительных операций кодирования цифровой информации общая скорость цифрового потока, подлежащая записи, составляет 4.32 Мбит/с. Сфор-

* В отечественных компакт-дисках это не предусмотрено.

мированная таким образом программная и служебная информация записывается на цифровом магнитофоне. Полученную магнитофонную сигналограмму называют мастер-лента, она является информационным подлинником компакт-диска.

Качество воспроизведения с новых дисков беспрецедентно для бытовой аппаратуры, и именно оно, а не компактность и удобство хранения является основным их достоинством.Цифровые пластинки обеспечивают воспроизведение в максимально возможной полосе частот 20 Гц...20 кГц при динамическом диапазоне лучше 80 дБ, при полном отсутствии импульсных помех (щелчков, потрескиваний) и шумов, характерных для обычных грампластинок. Практически осуществляется полное разделение стереоканалов (лучшая передача стереофонической картины), и дальнейшее повышение качества воспроизведения не имеет смысла, так как это уже будет восприниматься человеческим слухом.

В чем же особенность звучания компакт-диска? Прежде всего тишина. Впечатляющая, непосредственно ощущаемая тишина, из которой льется музыка во всей своей чистоте: ни шума, ни треска, создаваемого пылью, электростатическими зарядами и т. д. Эта тишина настолько впечатляет, что требуется несколько мгновений, чтобы привыкнуть к неожиданному появлению звуков музыки без предварительно легкого шума трения иглы. Однако это не означает, что уничтожается вся микроинформация от отражения звука, "дыхания" концертного зала, от атмосферы студии звукозаписи.

Преимущество расширенного динамического диапазона компакт-диска особенно очевидно в случае микроинформации. Число деталей звуковой картины, получаемой при тщательной записи звука с использованием цифровой техники, производит большое впечатление и превышает возможности лучших аналоговых систем звуковоспроизведения.

Другая особенность — возможность воспроизведения быстрых переходных процессов без искажений. Это обеспечивает очень высокую четкость всех регистров, их резкость, динамику, стабильность в звуковом пространстве и полный стереоэффект в этом диапазоне. При этом звучание музыкальных пассажей не только тонкое, но сильное и ясное.

Вместе с тем цифровое звуковоспроизведение подчеркивает искажения, допущенные при записи. Частотная характеристика всех музыкальных компонентов становится настолько ощутимой, что слышны малейшие просчеты. При неудачном размещении микрофонов становятся более заметными все неточности музыкального и стереофонического баланса, фазовые дефекты, узость базы, недостаточная глубина звукового изображения. Цифровая техника требует от звукорежиссера более тщательной подготовки к записи.

Качество звучания компакт-дисков действительно безукоризненно, но возникает вопрос, можно ли в домашних условиях прослушивать музыку с динамическим диапазоном 80 ... 90 дБ.

Если средний уровень шумов в жилом помещении [illegible] ... 40 дБ, то музыкальные пассажи, звучащие с таким уровнем, не всегда будут различаться на фоне шумов. С другой стороны, [illegible] стен жилых домов позволяет снизить шумы, [illegible] из смежных помещений, на 50 ... 60 дБ. Таким образом, воспроизведение музыки в жилых помещениях с динамическим диапазоном, который воспринимается при прослушивании классической музыки в концертном зале, затруднительно.

Производство компакт-дисков проходит в несколько этапов (рис. 26). Вначале на студии записывают цифровую фонограмму, затем формируется мастер-лента, содер-

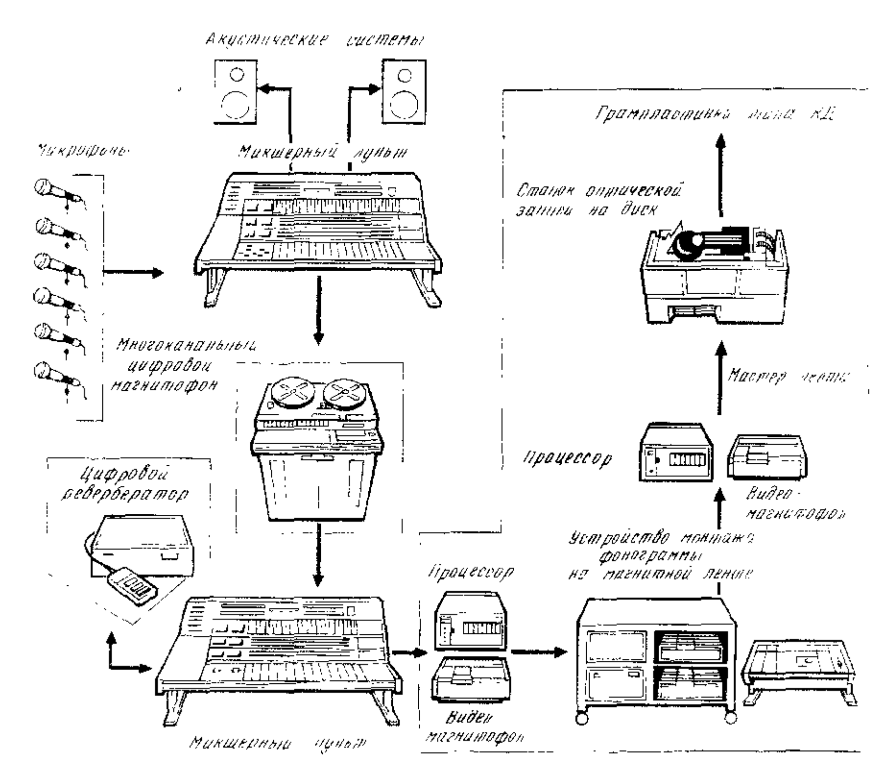


Рис. 26. Производство компакт-дисков

жащая, как известно, музыкальную стереопрограмму, а также служебную информацию, позволяющую проигрывать диск по заданной программе. Информация с нее записывается лучом лазера на стеклянный полированный и покрытый фоторезистом диск. Звуковые сигналы, преобразованные в последовательность электрических импульсов, управляют оптическим модулятором — устройством, которое перекрывает лазерный луч, падающий на слой фоторезиста. В результате на его поверхности образуется ряд микроскопических засвеченных участков, которые после их проявления покрывают напыленным серебром в вакуумной камере.

С диска методом гальванопластики снимают никелевую копию, которую после необходимой механической обработки используют в качестве матрицы при тиражировании партии компакт-дисков.

Эти процессы похожи на те, что применяются при производстве обычных пластинок, однако условия их проведения совершенно различны. Все операции совершают в абсолютной чистоте по классу 100, это значит, что в 1 м³ находится 100 частиц размером не более 0,5 мкм. Все процессы производства находятся под контролем компьютера.

Изготавливаются компакт-диски из поликарбоната специальных оптических марок на автоматах горячей прессовки. От качества материала сильно зависят оптические параметры, определяющие качество диска. После прессования информационную сторо-

ну диска подвергают металлизации тонким слоем алюминия ($1 \cdot 10^{-5}$ мм) и покрывают лаком, чтобы избежать механических повреждений. В защитный слой лака впрессовывается этикетка диаметром 100 мм (приклеивание этикетки не допускается, так как клей может вызвать коробление диска). Каждый диск вкладывается в специальный пластмассовый футляр с красочной этикеткой.

ЦИФРОВОЙ ЛАЗЕРНЫЙ ПРОИГРЫВАТЕЛЬ

Лазерный проигрыватель (ЛП) обладает несравненно более высокими параметрами воспроизведения звукового сигнала, чем аналоговый. Для сравнения в табл. 21 приведены параметры типового ЛП и аналогового проигрывателя высшей группы сложности.

Таблица 21

Техническая характеристика	Проигрыватель	
	лазерный	аналоговый
Коэффициент детонации, %	0,005	0,3
Номинальный диапазон воспроизводимых частот, Гц	3 ... 20 000	20 ... 20 000
Неравномерность АЧХ в номинальном диапазоне воспроизводимых частот, дБ	0,1	2
Динамический диапазон, дБ	100	40
Отношение сигнал-шум, дБ	116	50
Коэффициент гармоник, %	0,0015	1,5
Коэффициент интермодуляционных искажений, %	0,003	2
Разделение стереоканалов, дБ	110	35
Число проигрываний диска без заметного ухудшения качества	Не ограничено	50
Длительность звучания диска, мин	70	40

Лазерный проигрыватель имеет весьма сложную электронную часть, предназначенную для декодирования записанных на диске сигналов, выделения и расшифровки различных служебных кодов, разделения стереосигналов, исправления ошибок. Для этого используется мини-ЭВМ и несколько больших интегральных схем с десятками тысяч элементов.

На рис. 27 показана упрощенная структурная схема ЛП, включающая функциональные узлы: загрузочные устройства, оптико-механический блок (ОМБ), узел систем автоматического регулирования (САР), декодер, цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) и контроллер управления и индикации. Загрузочное устройство автоматически загружает компакт-диск в ЛП и устанавливает его на план-шайбу двигателя вращения диска. Оптико-механический блок обеспечивает вращение компакт-диска, перемещение лазерного звукоснимателя (ЛЗ) по его радиусу, а также считывание информации с поверхности диска. Узел САР содержит несколько систем автоматики.

Одна из них точно ведет луч по звуковой дорожке, а это не просто, так как на одном миллиметре укладывается 700 звуковых дорожек. Другая система автоматики поддер-

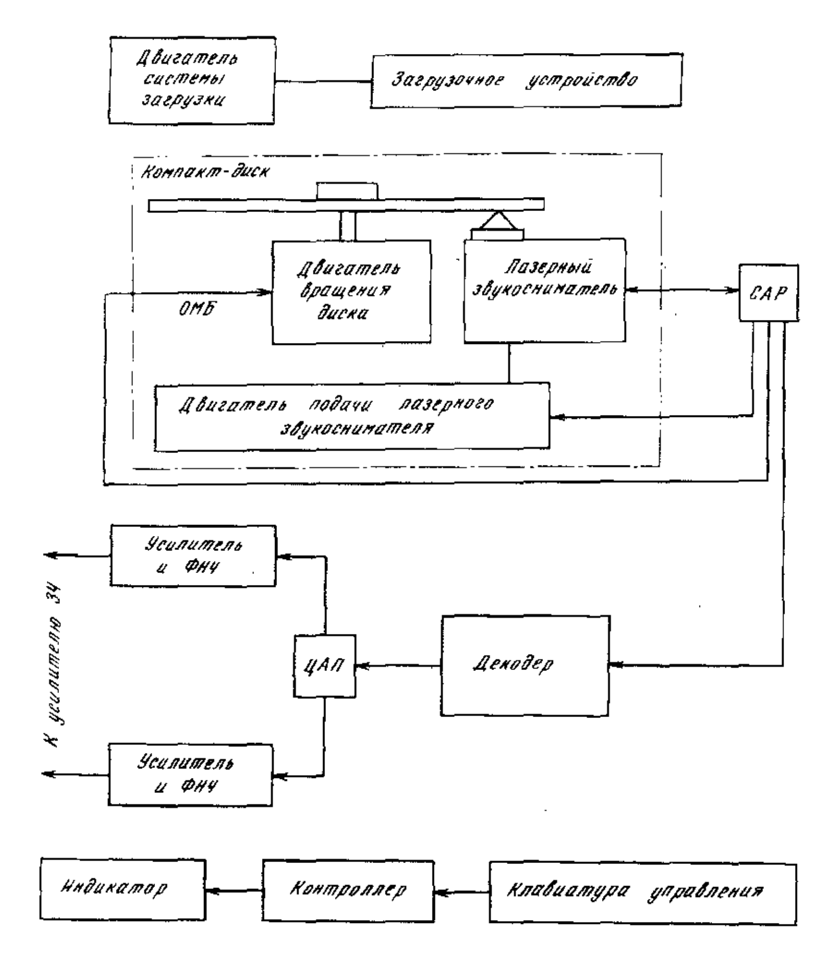


Рис. 27. Структурная схема лазерного проигрывателя

живает точную фокусировку луча. Вращаясь, диск может несколько смещаться вверх, вниз, реально на десятые доли миллиметра, а нужно, чтобы расстояние между отражающей поверхностью пластинки и фокусирующим объективом сохранялось неизменным с точностью до долей микрона. За этим и следит вторая система автоматики — при малейшем смещении пластинки вверх и вниз она немедленно в ту же сторону смещает и фокусирующий объектив.

Датчиком для обеих систем автоматики служит сам фотоприемник, воспринимающий свет, — светодиод. Он секционирован и фактически представляет собой четыре самостоятельных микроскопических светодиода, которые воспринимают основной цифровой сигнал. Причем если лазерный луч точно сфокусирован, то он падает на светодиод ровным кружком и все его четыре секции получают одинаковое количество света. При расфокусировке световой круг превращается в эллипс; если расстояние между линзой и пластинкой увеличилось, эллипс вытянут в одном направлении, если расстояние уменьшилось, в другом, перпендикулярном направлении. Система автоматики сопоставляет сигналы, полученные с каждой из четырех секций светодиода, по ним определяет, куда сместилась пластинка, и подает команду коррекции электромагниту. Аналогично работает и система слежения за дорожкой. Секции светодиода получают одинаковое количество света лишь в том случае, если луч точно следует по своей дорожке. Если же он отклонился вправо или влево, то на одной из секций световой поток уменьшается, на другой возрастает. Система автоматики, заметив это, тут же подаст сигнал коррекции на электромагнит, который смещает фокусирующий объектив в горизонтальной плоскости.

У обычного проигрывателя частота вращення диска постоянная, а линейная скорость канавки пластинки относительно уменьшается от начала записи к ее концу. У лазерного проигрывателя важным условием точности воспроизведения является поддержание постоянства линейной скорости (1,25 см/с) перемещения дорожки с питами относительно луча звукоснимателя. Поэтому частота вращения компакт-диска плавно изменяется от 524 об/мин на начальном диаметре (58 мм) до 200 об/мин на конечном (116 мм). За этим следит одна из систем автоматики. И, наконец, автоматика поддерживает постоянную мощность излучения лазера независимо от температуры, перепадов напряжения питания и других дестабилизирующих факторов.

Декодер предстааляет собой специализированный цифровой процессор для обработки считанного с компакт-диска сигнала. В его состав входят корректор ошибок и запоминающее устройство, которое обеспечивает сохранность информации о звуке, даже если она кратковременно пропала. Например, если диск достаточно сильно поцарапан, то в обычных условиях такой пластинкой пользоваться невозможно, но код защиты предохраняет звук от этих тресков и из тысячи импульсов-помех до слушателя дойдет не более одного-трех.

Цифроаналоговый преобразователь поочередно преобразует поступающие с декодера кодовые слова левого и правого каналов в аналоговый сигнал. Полученное напряжение подается на усилители с фильтрами нижних частот (ФНЧ) с частотой среза 20 кГц и далее на стереоусилитель мощности с акустическими системами.

Контроллер управления и индикации на базе микроЭВМ обрабатывает служебную информацию, подает ее на устройство индикации, а также управляет системами ЛП в различных режимах его работы: воспроизведения, поиска, программирования и др.

При загрузке диска в ЛП контроллер считывает информацию с вводной дорожки. Она записывается во внутреннее запоминающее устройство ЭВМ, после чего слушатель может запрограммировать порядок воспроизведения фрагментов и их число. В режиме воспроизведения на индикатор выводится порядковый номер музыкального произведения, текущее время его звучания, текущее время звучания диска или время, оставшееся до конца диска, и др.

В режиме ускоренного поиска выбранного произведения системы ЛП работают по командам контроллера. Быстродействие системы позволяет найти нужное произведение на диске за время, не превышающее 3 с.

Применение микроЭВМ позволяет реализовать беспроводное дистанционное упраление ЛП.

Лазерные проигрыватели имеют широкий набор органов управления и индикации, обеспечивающих эксплуатационные удобства и надежность проигрывателя в работе.

СЧИТЫВАНИЕ ЗАКОДИРОВАННОГО СИГНАЛА С КОМПАКТ-ДИСКА

Система считывания информации с компакт-диска схематически изображена на рис. 28. Она содержит двигатель 1, вращающийся компактный диск 2, полупроводниковый лазер инфракрасного диапазона 3, собирающую линзу 4, направляющую лучистый поток через расщепляющую призму 5, поляризующую пластинку 6 и фокусирующую линзу 7 на отражающую поверхность компакт-диска 2 с углублениями. Поляризующая пластина 6, толщина которой равна четверти длины волны лазера, вертикально поляризует поток, отраженный от поверхности компакт-диска. Расщепляющая призма с зеркальной поверхностью 8 пропускает лучистый поток лазера, но не пропускает обратно лучистый поток, отраженный от поверхности компакт-диска. Этот лучистый поток направляется зеркальной поверхностью через фокусирующую линзу 9 на фотоприемник 10.

При воспроизведении луч лазера, смещаясь от центра к периферии диска, прослеживает углубления. Воспроизведение записанной на компакт-диск информации становится возможным благодаря рассеиванию света на микрорельефе его поверхности. Если световое пятно попадает на промежуток между питами, свет не рассеивается. Отражаясь от поверхности компакт-диска, лучистый поток (100%) возвращается в объектив и, пройдя через расщепляемую призму и фокусирующую линзу, попадает на фотоприемник. При освещении углублений питов происходит дифракция света и на фотоприемник попадает только часть отраженного луча лазера (30%). При регистрации интенсивности отраженного луча на выходе фотоприемника возникает более низкий выходной сигнал. Тем самым воссоздается записанная на диске последовательность нулей и единиц.

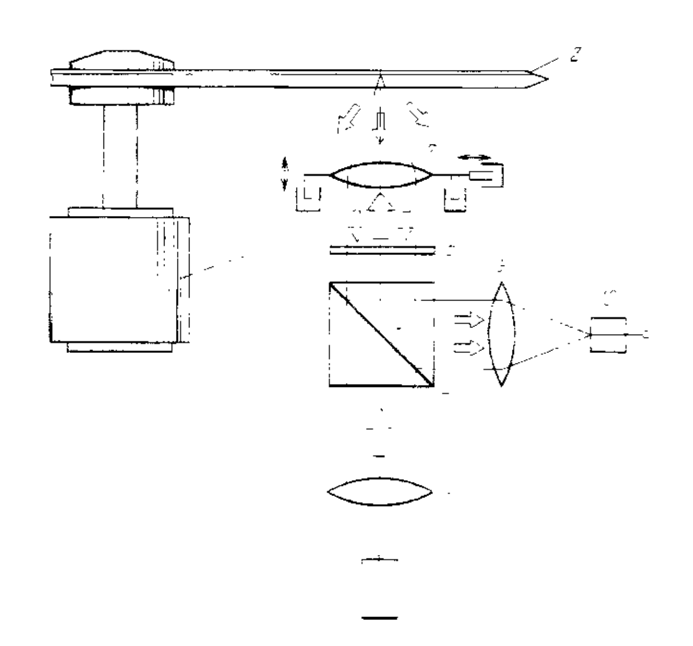


Рис. 28. Система считывания информации с компакт-диска

Существующий стандарт на компакт-диск, предусматривающий двухканальную запись звука, учитывает также возможность четырехканальной записи при увеличении частоты вращения грампластинки в 2 раза. При этом плотность записи не изменяется, а продолжительность воспроизведения сокращается вдвое и максимально равна 37 мин. В четырех каналах можно передавать квадрофонический сигнал или три канала использовать для звукозаписи, а один — для записи сигнала неподвижного изображения или любой другой информации.

При использовании системы компакт-диск приходится сталкиваться с ошибочным представлением о необходимости при этом замены всей аппаратуры: громкоговорителей, предварительных и выходных усилителей. Это напрасные опасения, и существующую стереоаппаратуру без каких-либо изменении можно соединять с цифровым проигрывателем. Однако может оказаться, что по качеству она уже недостаточно хороша для такого источника неискаженного сигнала, как цифровой проигрыватель. Например, может быть обнаружен шум предусилителя, который ранее не прослушивался, поскольку "скрывался" в шуме источника сигнала. Может оказаться слишком большой неравномерность АЧХ громкоговорителей. Поэтому усовершенствование аналоговой аппаратуры является резервом дальнейшего улучшения качества звука при цифровой грамзаписи.

Промышленность освоила выпуск лазерных проигрывателей: "Эстония ЛП-001", "Вега ЛП-007", "ПКД-122С", а также стереокомплекс "Амфитон РМ-ЛП-207С", включающий кроме лазерного проигрывателя тюнер, кассетную панель и эквалайзер.

Фирма "Финиел технолоджи энд Иновайшен" (США) сообщила о своих планах выпустить на рынок разработанный ею новый лазерно-оптический проигрыватель для обычных винилитовых грампластинок.

В проигрывателе используются низкочастотный лазерный луч, который считывает звуковой сигнал отражения от канавки пластинки, а также другие самые современные устройства на базе вычислительной техники.

Новое лазерно-оптическое проигрывающее устройство может быть использовано для проигрывания многих миллиардов винилитовых грампластинок, которые находятся у потребителя во всем мире, с получением более высокого качества воспроизведения и устранением нелинейных искажений и шумов, а также сохранения и дальнейшей эксплуатации существующей технологии производства винилитовых грампластинок, которые в любом случае и в будущем будут дешевле компакт-дисков

Глава 8
УСИЛИТЕЛИ

ПАРАМЕТРЫ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Усилитель звуковой частоты является неотъемлемой составной частью любого бытового комплекса звуковоспроизведения. Усилитель как функционально законченное устройство — это блок, предназначенный для усиления мощности электрического сигнала в диапазоне звуковых частот, регулировки АЧХ, регулировки уровня выходного сигнала, коммутации различных источников программ.

Всеми перечисленными функциями обладает так называемый полный, или интегральный, усилитель. В последнее время наметилась тенденция функционального раз-

деления бытовых усилителей на отдельные блоки предварительных усилителей и усилителей мощности, что дает определенные эксплуатационные удобства.

Предварительный усилитель (УП) предназначен для передачи на оконечный усилитель сигнала от любого источника программ, скорректированного по уровню. Обычно к предусилителю можно подключать один-два электропроигрывателя, тюнер, два-три магнитофона, а также имеются другие дополнительные входы. Предусматривается запись, перезапись с одновременным контролем любой программы, иногда микширование сигналов. Номинальное выходное напряжение составляет 1 В, выходное сопротивление — 600 Ом. Номинальное входное напряжение для входа с высоким уровнем составляет 250 мВ. Предусилители допускают перегрузку входов не менее чем в 10 раз (20 дБ) без заметного ограничения сигналов. Предварительный усилитель обеспечивает регулирование громкости, тембра и стереобаланса.

Усилитель мощности (УМ) предназначен для создания необходимой мощности на нагрузке, которой обычно является АС.

В комплексах высококачественного воспроизведения УМ не содержит корректирующих АЧХ элементов и имеет плоскую АЧХ в широком диапазоне частот. В этом блоке не предусматривают никаких регулировок. Устанавливается лишь индикатор уровня выходной мощности.

Требования, предъявляемые к высококачественному усилителю, в последние годы значительно возросли. Современный усилитель имеет малые нелинейные и динамические интермодуляционные искажения во всем звуковом диапазоне частот, достаточно большую выходную мощность и низкий уровень шумов, обладает высокой термостабильностью и устойчивостью к самовозбуждению. В усилителях предусматривается защита выходного каскада от перегрузки сигналом и от короткого замыкания нагрузки, тепловая защита транзисторов, защита громкоговорителей при появлении на выходе постоянного напряжения, "мягкое", без щелчков, включение питания.

Каковы же конкретные параметры высококачественного современного усилителя? Для высококачественного воспроизведения музыкальных программ усилитель вместе с АС должен обеспечить в жилом помещении достаточную акустическую мощность, при которой слабые сигналы не маскируются шумами, а сильные не подвержены нелинейным и интермодуляционным искажениями во всем динамическом диапазоне. Диапазон частот — основной параметр, определяющий качество воспроизведения УЗЧ.

Диапазон эффективно воспроизводимых частот представляет собой диапазон частот, в котором отклонение АЧХ коэффициента передачи усилителя относительно коэффициента передачи на частоте 1000 Гц не превышает заданного значения.

Интенсивность спектральных составляющих музыкальных программ очень мала вне диапазона 20 Гц...20 кГц. Таким образом, с точки зрения частотной характеристики полоса 20 Гц...20 20 кГц вполне удовлетворительна для высококачественной передачи.

Вместе с тем известно, что спектр звука некоторых музыкальных инструментов [illegible] достигает 30...40 кГц. Этим, по-видимому, можно объяснить факт, что многие квалифицированные эксперты замечают разницу в звучании усилителей [illegible] например 20 и 40 кГц.

[illegible] воспроизводимых частот [illegible] равномерности усиления сигналов любой частоты внутри этого диапазона, т.е. от равномерности АЧХ и линейности ФЧХ.

Источником нелинейных искажений в усилителях является нелинейность передаточных характеристик активных элементов: транзисторов и электронных ламп. В трансформаторных усилителях добавляются нелинейные искажения трансформаторов,

связанные с нелинейностью кривой намагничивания. Часто в описаниях и рекламах усилителей появляются сообщения об исчезающе малых искажениях, измеряемых сотыми долями процента. И в то же время известно, что ламповые усилители с коэффициентом гармоник 0,5 % по субъективной оценке звучат лучше транзисторных с коэффициентом 0,1 %. Это объясняется тем, что в спектре гармоник транзисторных усилителей преобладают гармоники высших порядков.

В ламповых усилителях наблюдается обратная тенденция. Как показали эксперименты, искажения средних частот второго (квадратичные) и третьего (кубичные) порядка, не превышающие 0,5 %, практически не различимы слухом, а чувствительность уха к искажениям четвертого и пятого порядка существенно выше по сравнению с чувствительностью к квадратичным и кубичным. Чувствительность человеческого уха к гармоникам высоких частот также выше, чем к гармоникам средних частот. Отсюда можно сделать вывод, что гораздо важнее не количественное, а качественное содержание гармоник в спектре воспроизводимого сигнала.

Предварительный (линейный) усилитель предшествует УМ, на вход которого для достижения номинальной выходной мощности необходимо подавать напряжение примерно 1 В. Это создает жесткие требования к линейным усилителям в отношении их собственного коэффициента гармоник, перегрузочной способности и относительного уровня шумов и помех. Если за порог заметности нелинейных искажений полного усилителя принять их уровень, соответствующий коэффициенту гармоник $K_Г = 0,3$ %, то линейный усилитель должен обеспечивать по крайней мере втрое меньший $K_Г$. Если же после линейного усилителя следует не УМ, а блок регулирования тембра, то с учетом того, что в последнем нередко используется режим подъема высоких частот на 10...20 дБ, линейный усилитель должен обеспечить еще на порядок меньший $K_Г$, т.е. сотые доли процента.

Наряду с нелинейными искажениями на качество звучания неблагоприятно влияют так называемые интермодуляционные искажения. Причина таких искажений — те же нелинейные характеристики усилителя. *Интермодуляционные искажения* — это комбинационные продукты искажения, проявляющиеся как модуляция высокочастотных составляющих сигнала низкочастотными при работе элементов воспроизведенного тракта в нелинейной области. Так, при усилении музыкальной программы на выходе усилителя кроме высших гармоник входного сигнала появляются сигналы с частотами, равными сумме и разности входных сигналов, сумме и разности удвоенных частот входных сигналов и т.д. Причем такие искажения максимальны при наибольших уровнях сигнала, например во время пассажей мощных высокочастотных музыкальных инструментов. Причиной является перегрузка входного каскада при действии на входе усилителя сигналов с высокой скоростью нарастания напряжения.

Слух человека очень чувствителен к интермодуляционным искажениям: характерные ощущения при этом отождествляются с большей жесткостью звука и присутствием в нем "металлических" компонентов, усугубляется это еще и тем, что отсутствует маскировка их основным тоном. Интермодуляционные искажения определяются как сумма всех амплитуд составляющих комбинационные частоты. В современных транзисторных УЗЧ [illegible] выходной мощности [illegible] интермодуляционные искажения так же, как и нелинейные, не превышают [illegible]

Скорость нарастания выходного напряжения — термин, обозначающий максимальную скорость изменения напряжения на выходе усилителя за единицу времени при условии, что на вход усилителя подается импульс с крутым фронтом.

Музыкальные сигналы являются непериодическими сигналами, иногда с крутым фронтом. Установлено, что искажения сигнала в УЗЧ и АС, проявляющиеся в умень-

шении крутизны фронта и амплитуды переходного процесса, ощущаются при прослушивании. Естественность звучания, способность усилителя передавать крутые фронты импульсных сигналов характеризуются скоростью нарастания сигнала (ее выражают в вольтах на микросекунду). Человеческое ухо чувствительно к импульсным сигналам с фронтом длительностью в несколько микросекунд. Скорость нарастания зависит от физических свойств активных элементов, способов их включения, распределения и глубины обратной связи.

При недостаточной скорости нарастания происходит запаздывание сигнала, что приводит к перегрузке входного каскада в течение времени запаздывания и ухудшению крутизны фронта сигнала. Такие искажения принято называть динамическими искажениями, которые проявляются в виде "завала" фронтов, резких перепадов уровня реальности музыкального сигнала и в кратковременном возрастании нелинейных (как гармонических, так и интермодуляционных) искажений в этот момент.

Чтобы обеспечить воспроизведение крутых фронтов в диапазоне частот 20...20 000 Гц, в УМ используют отрицательную обратную связь, охватывающую все каскады усилителя с глубиной связи 20...30 дБ.

Еще один параметр современного усилителя – коэффициент демпфирования, который влияет на верность воспроизведения звука.

Коэффициент демпфирования определяется отношением сопротивления нагрузки к выходному сопротивлению усилителя. Экспериментально показано, что чем меньше выходное сопротивление усилителя, тем более равномерна АЧХ этого усилителя, нагруженного на АС. Удовлетворительное уменьшение динамических искажений достигается при выходном сопротивлении усилителя не более 0,2 Ом. При номинальной нагрузке 4 Ом получают, что коэффициент демпфирования высококачественного усилителя должен быть не менее 20.

Мощность усилителя во многом определяет качество воспроизведения музыкальной программы.

Номинальная выходная мощность — это максимальная электрическая мощность синусоидального сигнала, которую способен отдавать усилитель в нагрузку, при этом коэффициент общих гармонических искажений не превышает нормированного значения. Обычно мощность нормируют на сопротивлениях нагрузки 4 или 8 Ом, равных номинальным сопротивлениям выпускаемых АС.

Рекомендация МЭК 581-6 регламентирует для усилителей номинальную выходную мощность не менее 10 Вт. Типовое значение выходной мощности выпускаемых усилителей 50...100 Вт и более.

При воспроизведении музыки большая мощность расходуется в отдельные краткие промежутки времени, такую мощность принято называть *музыкальной мощностью*. Музыкальная мощность связана со способностью усилителя воспроизводить максимальный динамический диапазон, т.е. фортиссимо без заметных искажений и пианиссимо без шумов.

В зависимости от энергетических возможностей источника питания музыкальная мощность может быть на 20...40 [illegible] больше номинальной мощности усилителя.

[illegible] мощность, которую развивает усилитель независимо от искажений, коэффициент гармоник может достигать [illegible]. При полностью введенном регуляторе громкости. При максимальной мощности усилитель долго эксплуатировать нельзя, так как это приводит к его перегреву.

Тенденцию увеличения мощности усилителя можно объяснить несколькими причинами, в первую очередь необходимостью улучшения качества звучания. При вос-

роизведении предпочтительнее прослушивать музыкальные программы с той же громкостью, что и в концертном зале, так как частотная характеристика слуха, как мы уже знаем, приблизительно горизонтальна лишь при большом уровне громкости звучания.

Воспроизведение с уровнем, меньшим по сравнению с естественным уровнем громкости, ведет к ухудшению восприятия звуков низших и высших частот, т.е. к обеднению звучания по сравнению с естественным.

Необходимость повышения мощности усилителей вызвана также тем, что громкоговорители имеют крайне низкий КПД (0,5...2 %).

Для того чтобы громкоговорители развили необходимое звуковое давление, требуется подвести к ним большую электрическую мощность.

Кроме того, увеличение мощности усилителей позволяет скорректировать частотную характеристику громкоговорителя, которая обладает большей неравномерностью по сравнению с другими звеньями тракта звукопередачи.

Затраты звуковой мощности для получения заданного уровня громкости зависят также от потерь звуковой энергии в самом помещении, где установлены громкоговорители (АС). Потери возникают в результате поглощения звука стенами, полом, потолком, мебелью, драпировкой и т.д.

Установлено, что для высококачественного воспроизведения звука в помещении объемом 60 м^3 (площадь 20 м^2) с небольшим количеством мягкой мебели, легкими занавесками и твердым покрытием пола желательно использовать усилители мощностью 30...40 Вт. В помещении такого же объема с большим количеством мягкой мебели, ковров на полу и стенах с плотными занавесками и т.д. — усилители мощностью 50...60 Вт. Если объем комнаты 100 м^3 (около 30 м^2 площади), то необходимая мощность усилителя составит 100...150 Вт.

Однако нельзя считать, что только использование усилителя в режиме мощности, близкой к номинальной, дает высококачественное звуковоспроизведение. Обычно оптимальный уровень громкости выбирают в пределах 50...60 % номинальной мощности усилителя.

Один из основных параметров стереофонической системы, определяющий электрическую независимость левого и правого каналов передачи, переходное затухание между каналами, характеризует уровень электрического проникновения сигнала из одного канала в другой. По этой характеристике усилитель значительно превосходит источники программ (проигрыватель, магнитофон, радиоприемник), где возникают принципиальные трудности получения больших переходных затуханий. В лучших моделях усилителей переходные затухания между стереоканалами обеспечиваются в пределах 45...50 дБ.

Отношение сигнал-шум определяется как отношение номинального напряжения на выходе усилителя к эффективному напряжению шумов и помех. По этому параметру современные усилители превосходят источники низкочастотных сигналов.

Из сказанного следует, что высококачественный усилитель мощности [illegible] обладать следующими характеристиками: выходная мощность [illegible] 20 [illegible] динамический диапазон [illegible] дБ, диапазон воспроизводимых частот [illegible] неравномерность [illegible] дБ, коэффициент демпфирования [illegible] не менее 20.

Остановимся на причинах, из-за которых возникают искажения при звукопередаче сигнала УЗЧ. Нередко можно слышать, что с внедрением транзисторных УЗЧ звук стал привлекательным, ярким, свободным. В отличие от ламповых транзисторный

усилитель обеспечивал неограниченную АЧХ. Затем постепенно транзисторный звук превратился в синоним неприятных субъективных ощущений, хотя формально измеряемые объективные параметры транзисторных УЗЧ для того времени соответствовали требованиям неискаженной звукопередачи. Среди большого числа определений, используемых экспертами при оценке качества звукопередачи транзисторных УЗЧ, выделяются такие: мутность, жесткость, металличность, утомительность звучания, вялость баса, частотная и временная размытость, потеря детальности (отчасти этим можно объяснить возврат к ламповым усилителям, отличающимся, как известно, "мягкой" характеристикой).

Практически каждый транзисторный усилитель является источником тепловых искажений в области низких звуковых частот, причем в случае сложного сигнала на выходе УЗЧ эти искажения преобразуются затем в инфразвуковые интермодуляционные. При этом наблюдаются гармонические искажения в области низких звуковых частот (ниже 100 Гц); инфразвуковые интермодуляционные искажения преобразуются в результате действия амплитудно-фазовой конверсии в паразитную частотную модуляцию. В то же время известно, что даже ничтожные значения (приблизительно 0,06 %) частотной модуляции сложного сигнала заметны на слух.

При необходимости снизить "транзисторные " искажения можно использовать в тракте ламповые усилители мощности ("Прибой-104").

Согласно ГОСТ 24388 — 83 усилители подразделяются на две группы сложности: высшую (0) и первую (1). Высшая группа усилителей по своим показателям не уступает профессиональной аппаратуре, используемой в студиях звукозаписи.

В табл. 22 приведены нормы основных параметров усилителей.

Таблица 22

Параметр	Норма по группе сложности	
	0-я	1-я
1. Диапазон воспроизводимых частот, Гц:		
нижняя предельная	20	31,5
верхняя предельная	25000	20000
2. Коэффициент гармоник в диапазоне частот 40...16000 Гц, %, не более, для усилителей:		
предварительного	0,05	0,3
мощности	0,1	0,3
полного	0,15	0,5
3. Коэффициент интермодуляционных искажений, %, не более, для усилителей:		
предварительного	0,2	1,5
мощности	0,3	1,5
полного	0,4	2
4. Переходное затухание между стереоканалами, дБ, не менее, на частотах:		
1000 Гц	48	40
250...10 000 Гц	38	30
5. Отношение сигнал-взвешенный шум, дБ, не менее, для усилителей:		
предварительного	80	66
мощности	100	86
полного	80	66
6. Коэффициент демпфирования в диапазоне воспроизводимых частот, не менее	20	10

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Качественные характеристики усилительного устройства во многом зависят от параметров ПУ.

Предварительный усилитель обычно состоит из коммутаторов входных и выходных сигналов, одного или нескольких каскадов усиления напряжения, в том числе микрофонного усилителя, блока регулировок громкости и тембра.

На вход подают сигналы от самых разных источников звуковых программ, таких как проигрыватель, магнитофон, тюнер, радиотрансляционная сеть, микрофон и др. Каждый из источников подключают к усилителю с помощью отдельного соединителя. Для этого используют унифицированные штепсельные соединители ОНЦ-ВГ-4-5/16-Р (прежнее название СГ-5) и ОНЦ-ВГ-4-5/16-В(прежнее название СШ-5). Разводка цепей в них унифицирована и осущесталяется в соответствии с ГОСТ 12368-88, учитывающим международные нормы.

Сигнал с входных соединителей поступает через селектор входного сигнала, назначение которого — избирательное подключение на вход усилителя выбранного источника звуковой программы.

Часто с помощью селектора коммутируют источники звуковых сигналов, чтобы обеспечить запись на магнитофон, наложение сигналов с микрофона на отдельные звуковые программы и т.д.

В селекторах входного сигнала используются механические или электронные коммутаторы. Механические коммутаторы проще по конструкции, не вносят искажений. Однако их громоздкость, расположение органов упрааления и коммутации вдали от переключаемых цепей низкого уровня создают большие проблемы в получении хорошей помехозащищенности и минимума наводок. К тому же они являются источником тресков и щелчков. Для электронных коммутаторов свойственно разделение органов упрааления и коммутации, что позволяет приблизить элементы коммутации непосредственно к переключаемым цепям и входам предварительных чувствительных каскадов усилителя, упрощает настройку коммутируемых цепей.

Микрофонный усилитель предназначен для усиления сигналов микрофона и согласования его с последующими усилительными каскадами звукопроизводящего тракта. Коэффициент усиления микрофонного усилителя выбирают таким образом, чтобы обеспечить на входе основного усилителя номинальный уровень напряжения 200...400 мВ.

Особенностями микрофонного усилителя являются: работа при малых уровнях входного сигнала (номинальная ЭДС, развиваемая разными типами микрофонов, составляет 0,1...0,8 мВ), низкий уровень собственных шумов и минимальные нелинейные искажения.

Собственные шумы примеияемых в высококачественной звукотехнике. электростатических (конденсаторных) и электродинамических микрофонов незначительны.

Качество звучания и эксплуатационные возможности ПУ в значительной мере определяются эффективностью работы регуляторов громкости, тембра и стереобаланса. Качество звучания во многом зависит от АЧХ электроакустического тракта, которая с учетом особенностей восприятия звуков разной частоты должна быть различной при разных уровнях громкости. Достигают этой цели применением так называемых тонкомпенсированных регуляторов уровня автоматически, одновременно с уменьшением или увеличением громкости изменяющих АЧХ усилительного устройства.

Для того чтобы тонкомпенсация была верной, максимальная громкость, получаемая в крайнем положении регулятора, должна быть такой, при которой звукорежиссер

производил бы музыкальную балансировку в процессе работы над фонограммой в соответствии с чувствительностью уха (в большинстве музыкальных программ она производится на уровнях громкости не выше 90 фон).

При прослушивании музыкальных программ на уровнях громкости, меньших уровня музыкальной балансировки (а именно с такими уровнями чаще всего имеет дело слушатель), необходимо, ориентируясь на кривые равной громкости, компенсировать соответствующие различия в чувствительности уха, что и предусмотрено в регуляторах уровня громкости с тонкомпенсацией.

В качестве регуляторов громкости обычно используют переменные резисторы с функциональной зависимостью, подчиняющейся показательному закону (группа В). Применяемые в усилителях регуляторы имеют диапазон плавного изменения уровня до 60 дБ.

Однако разбаланс сопротивлений сдвоенных переменных резисторов, наиболее часто используемых для тонкомпенсированной регулировки громкости, может достигать $\pm$ 3 дБ, а изменение их сопротиаления из-за люфта движка или оси $\pm$6 дБ. Это приводит к разбалансу уровней сигналов в каналах стереоусилителя при регулировании громкости и к рассогласованию АЧХ, особенно заметному на малой и средней громкости.

От указанных недостатков свободен сдвоенный ступенчатый тонкомпенсированный регулятор уровня громкости, построенный на дискретных резисторах и многопозиционных переключателях.

В последние годы с развитием технологии и созданием новой элементной базы получили распространение электронные регуляторы громкости и баланса на полевых транзисторах, КМОП-коммутаторах, КМОП-мультиплексорах, а также на специальных микросхемах.

Нередко в современных усилительных устройствах также используют режим "Интим" или "-20 дБ", снижающий уровень сигнала скачком в 10 раз, что создает определенные эксплуатационные удобства, например, при контрольном прослушивании, выборе музыкальных программ и т. п.

Качество звучания и эксплуатационные возможности ПУ в значительной мере определяются эффективностью работы регуляторов тембра. Основная функция регуляторов тембра — испрааление суммарных погрешностей АЧХ источников сигнала. АС в конкретной акустической обстановке и других звеньев, а также спектральная обработка в соответствии с индивидуальными особенностями слуха и художественным вкусом слушателя. Регулировка тембра звучания основана на изменении АЧХ усилителя и достигается в основном с помощью цепей, содержащих конденсаторы и переменные резисторы, влияющие на АЧХ на краях рабочего диапазона частот. Предел регулирования АЧХ на частотах 40 Гц...15 кГц составляет обычно около $\pm$16 дБ. Необходимость в регулировании АЧХ на краях слышимого диапазона частот подтверждена практикой и обосновывается тем, что, во-первых, в области как низших, так и высших частот снижается отдача громкоговорителей, в наибольшей степени проявляется несовершенство источников сигнала и усилителей, а во-вторых, на этих частотах начинает сказываться влияние акустических свойств помещения прослушивания: поглошение и отражение звуков на высоких частотах, резонансы объема (гулкость), поглощение низкочастотных состааляющих воспроизводимого сигнала.

В отдельных усилителях используют "регулятор присутствия", позволяющий выделить голос солиста на фоне музыкального сопровождения, сделать его более понятным и объемным, создавая тем самым "эффект присутствия" солиста где-то рядом со слушателем. Суть "эффекта присутствия" заключается в соответствующей коррекции АЧХ усилителя. При этом учитывается, что диапазон изменения частот музыкального сопровождения составляет 9 октав, от 20 Гц до 15 кГц. Этот диапазон перекрывают частоты, на которых работают все музыкальные инструменты — от большого басового барабана до маленькой флейты пикколо. Частоты человеческого голоса занимают примерно центральную часть этого диапазона (2...5 кГц). Поэтому для того чтобы выделить голоса солистов на фоне музыкального сопровождения, достаточно повысить усиление на частотах от 1 до 5 кГц, повышение усиления должно составлять 8...10 дБ.

Наиболее просто реализовать "эффект присутствия" можно в трехполосной АС, где усиление и воспроизведение производятся раздельно в полосах низших, средних и высших частот. Обычно частота разделения каналов низших и средних частот составляет 600...800 Гц, средних и верхних — 4 кГц. Следовательно, достаточно увеличить усиление канала средних частот на 6...10 дБ, чем в каналах низших и высших частот, чтобы "эффект присутствия" проявился в полной мере.

Кроме фильтров, корректирующих спектр звукового сигнала, в ПУ применяют фильтры, предназначенные для подавления нежелательных компонент, нередко сопровождающих полезный сигнал.

Для этой цели используют фильтры нижних (ФНЧ) и верхних (ФВЧ) частот. Их задача — обеспечить эффективное подавление составляющих фона, шумов и паразитных сигналов в той части диапазона, где отсутствуют составляющие полезного сигнала. Помехи, вызванные вибрацией движущих механизмов ЭПУ, короблением грампластинок, располагаются в инфразвуковой и нижней части звуковой области частот, сигнал поднесущей УМ стереовещания и тока подмагничивания в магнитофонах — в ультразвуковой. Прохождение таких сигналов на входы УМ и АС может заметно ухудшить звучание вследствие действия сопутствующих им интермодуляционных искажений. Возможны случаи, когда спектр помех или шума расположен в диапазоне слышимых частот, например фон с частотой сети, биение токов подмагничивания с гармониками звукового сигнала, широкополосный шум изношенных грампластинок и т.п. Фильтр верхних частот кроме подавления высокочастотных помех ограничивает время нарастання импульсного входного напряження тем самым уменьшает вероятность возникновения дивамических интермодуляционных искаженнй в последующих звеньях тракта.

Фильтры характеризуются двумя специфическими показателями — частотой среза и крутизной спада АЧХ.

Частота среза — точка перегиба АЧХ фильтра, в которой коэффициент передачи изменяется на 3 дБ. *Крутизна спада АЧХ* характеризует скорость спада АЧХ фильтра от точки перегиба. Обычно она измеряется в децибелах на октаву.

Пассивные RC-фильтры имеют значительное затухание, малую крутизну спада АЧХ. Для улучшения параметров RC-фильтров к ним присоединяют активные элементы — транзисторы или операционные усилители. Это частично компенсирует потери сигнала и повышает крутизну спада АЧХ всего фильтра. Обычно частота среза фильтра ВЧ выбирается в диапазоне 40...100 Гц для ФНЧ 10...20 кГц, крутизна спада АЧХ фильтров в пределах 6 и 12 дБ на октаву.

Еще одна функция ПУ — регулирование стереобаланса.

С этой целью в тракте усиления левого и правого каналов включают сдвоенные регуляторы уровня, действующие противофазно.

4 Зак. 2021

ПОЛНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Рассмотрим устройство полного усилителя на примере "Бриг-001". Двухканальный усилитель выполнен по функционально-блочному принципу, состоит из входного блока, блока управления, двух УМ (УПК и УЛК), блока защиты и двух блоков электропитания (рис. 29). Конструктивно схема усилителя выполнена с применением печатного монтажа и содержит 55 кремниевых транзисторов и 32 диода.

Усилитель обладает широкой полосой воспроизводимых частот — 20...25 000 Гц, линейной АЧХ (неравномерность ±1 дБ), повышенной мощностью — 60 Вт на канал, экстремально низкими гармоническими и интермодуляционными искажениями 0,1 и 0,15 % соответственно. Отношение сигнал-шум — 60 дБ, переходное затухание между стереоканалами — 50 дБ.

В состав входного блока (БВ) входят коммутационная система и двухканальный ПУ. Коммутационная система позволяет с помощью переключателя выбрать любой из пяти источников сигналов звуковых частот, подключенных ко входу: стереомикрофон, проигрыватель с электромагнитным и пьезоэлектрическим звукоснимателем, магнитофон, тюнер.

Предварительный усилитель каждого канала включает в себя усилители корректирующий и трехкаскадный буферный. Микрофон и звукосниматель с электромагнитной головкой (источники с низким уровнем сигнала) подключаются к корректирующему усилителю.

Магнитофон, тюнер и другие источники с высоким уровнем сигнала подключаются непосредственно к буферному усилителю, который обеспечивает их согласование с входным сопротиалением УП. Усилитель имеет большое (около 500 кОм) входное и малое выходное сопротивления.

При недостаточном уровне воспроизведения даже в крайнем правом положении регуляторов громкости (что может быть вызвано пониженным уровнем выходного сигнала источника программы) в буферном усилителе имеется переключатель, повышающий чувствительность выхода.

Схемой предусмотрена возможность подключения к регулятору громкости тонкомпенсирующих цепей, обеспечивающей подъем низких частот при малом уровне усиления.

В блоке управления (БУ) имеются регуляторы громкости, тембра и два ограничивающих фильтра: низкочастотный, ограничивающий частотную полосу ниже 50 Гц, высокочастотный, ограничивающий полосу выше 9 кГц. Вносимое фильтрами затухание — 12 дБ на октаву. Включение ограничительных фильтров уменьшает посторонние шумы, например низкочастотного фона от электропроигрывателя или высокочастотного шума при воспроизведении изношенных грампластинок.

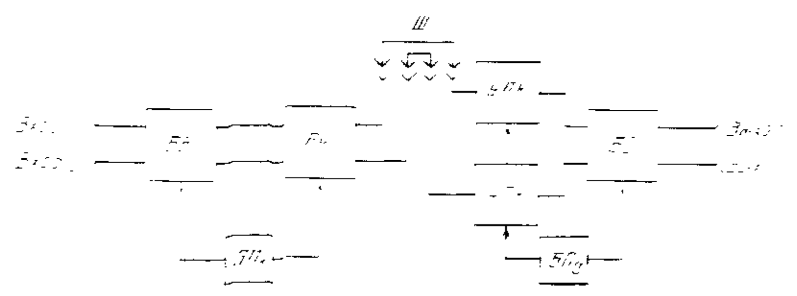


Рис. 29. Структурная схема усилителя "Бриг-001"

Частотные характеристики усилителя при действии всех регуляторов тембра и фильтров приведены на рис. 30. Сигнал с выхода блока управления подается на вход УМ. Выход блока имеет выводы на гнездо с вилкой (Ш), вместо вилки можно подключать (в разрыв каждого канала) ревербератор, эквалайзер (многополосный регулятор тембра), мощный трансляционный усилитель и другие приборы для обработки сигналов. Для увеличения переходного затухания между каналами в УМ используют устройство компенсации, с помощью которого взаимно уничтожаются проникающие из канала в канвл переходные помехи, чем достигается улучшение стереофонического эффекта при воспроизведении.

Для снижения нелинейных искажений усилитель мощности охвачен глубокой отрицательной обратной связью (свыше 30 дБ), что улучшает электрическое демпфирование громкоговорителя, подключенного к усилителю. Физическая сущность демпфирования заключается в том, что выходное сопротивление усилителя шунтирует громкоговоритель и тем самым предотвращает или сводит к минимуму свободное колебание диффузора низко- и среднечастотной головок после окончания возбуждающего импульса.

Вероятно, многие замечали, что при включении и выключении усилителей НЧ в громкоговорителях прослушиваются довольно сильные щелчки-хлопки, вызванные переходными процессами. Электрические низкочастотные колебания (от 10 Гц и ниже), возникающие на выходе мощного усилителя в момент переходных процессов, имеют большую амплитуду и могут привести к механическим повреждениям диффузора громкоговорителя. Для защиты громкоговорителей в усилителях "Бриг-001-стерео" предусмотрен блок защиты (БЗ), подключающий их к усилителю спустя 2 — 3 с после подачи напряжения, когда переходные процессы закончатся. При выключении питания задержка отключения настолько мала, что громкоговорители отключаются раньше, чем начнут проявляться переходные процессы.

Кроме того, для защиты мощных транзисторов выходного каскада от коротких замыканий в нагрузке в блоке применено быстродействующее электронное устройство, автоматически запирающее транзисторы при увеличении тока сверх допустимого.

Представитель нового поколения полных усилителей звуковой частоты "Карвет 50 У 068С". При его проектировании были использованы технические решения усилителя "Бриг-001-стерео" и новые достижения современной схемотехники. Впервые в отечественной практике применен усилитель мощности класса АВС с двухуровневым питанием, что позволило улучшить тепловой режим усилителя.

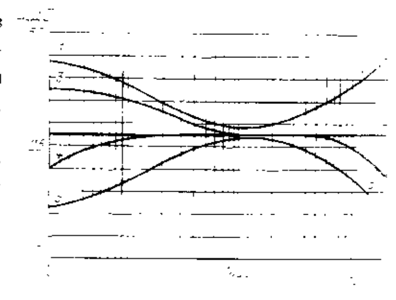


Рис. 30. Частотные характеристики усилителя при действии всех регуляторов тембра и фильтров:
1 — НЧ подняты; 2 — ВЧ подняты; 3 — тонкомпенсация; 4 — ограничение фильтром НЧ; 5 — НЧ опущены; 6 — линейная; 7 — ограничение фильтром ВЧ; 8 — ВЧ опущены

В усилителе предусмотрена защита от коротких замыканий в нагрузке и перегрузке выходов усилителя. Усилитель имеет переключа-

тель типов звукоснимателей, с помощью которого к нему можно подключить электродинамический звукосниматель (с подвижными катушками), — это помимо традиционного электромагнитного.

Усилитель позволяет вести одновременную и независимую запись от разных источников звуковых программ сразу на три магнитофона. Мгновенное значение максимальной выходной мощности индицируется 12-сегментным светодиодным индикатором. Наличие ограничителя максимальных уровней позволяет ограничить выходной сигнал при использовании АС с паспортной мощностью ниже рекомендованной.

Регулятор громкости с плавно изменяемым уровнем тонкомпенсации позволяет уменьшить шумы при снижении громкости, а выбрав желаемый подъем АЧХ в области низких звуковых частот, можно лучше согласовать особенности слухового восприятия с акустическими свойствами помещения прослушивания. Для дополнительной регулировки громкости предусмотрена кнопка ступенчатого ее изменения. Помехи на инфранизких частотах (от приводимых механизмов ЭПУ и вибраций его корпуса) ограничиваются фильтром верхних частот, а высокочастотные помехи (например, при износе грампластинок) — фильтром нижних частот.

Вся необходимая коммутация (источников программ АС, головных телефонов, режимов работы) производится кнопочными переключателями со световой индикацией включения. Отключаемый ответвитель сети позволяет питать от него устройства, работающие совместно с усилителем. (Основные технические характеристики усилителей приведены в приложении 7.)

ЭКВАЛАЙЗЕРЫ

За последние годы в бытовой звукотехнике получили распространение многополосные частотные корректоры, или эквалайзеры (от англ. gualizer — выравниватель), предназначенные для регулирования АЧХ звукового тракта с целью получения высокой верности воспроизведения. Появление аппаратуры этого класса связано с совершенствованием АЧХ сквозного тракта звуковоспроизведения, учитывающего используемые АС и конкретное помещение прослушивания. Основные звенья звуковоспроизводящей цепи — микрофон, магнитофон, головка звукоснимателя, тюнер, усилитель — достигли высокого технического совершенства в передаче звукового диапазона частот, при этом отклонения АЧХ не превышают 2 дБ, а различия АЧХ стереоканалов не превышают 0,5... 1 дБ. Получение же таких технических характеристик в АС в настоящее время проблематично.

На рис. 31 приведена АЧХ акустической системы 35АС-012 (S-90). Как видно, отклонения АЧХ достигают 10...20 дБ и носят резонансный характер. К этому можно добавить, что АЧХ левого и правого каналов АС по звуковому давлению в месте прослушивания могут различаться на 15...20 дБ и более. Причиной этого является интерференция звуковых волн, прямых [illegible] приходящих в точку прослушивания [illegible]

Большое значение для правильного [illegible] имеют акустические свойства помещения прослушивания.

Одно из главных отличий акустики концертных студий [illegible] акустики жилых помещений заключается в том, что основные резонансы [illegible] в области низких частот [illegible]

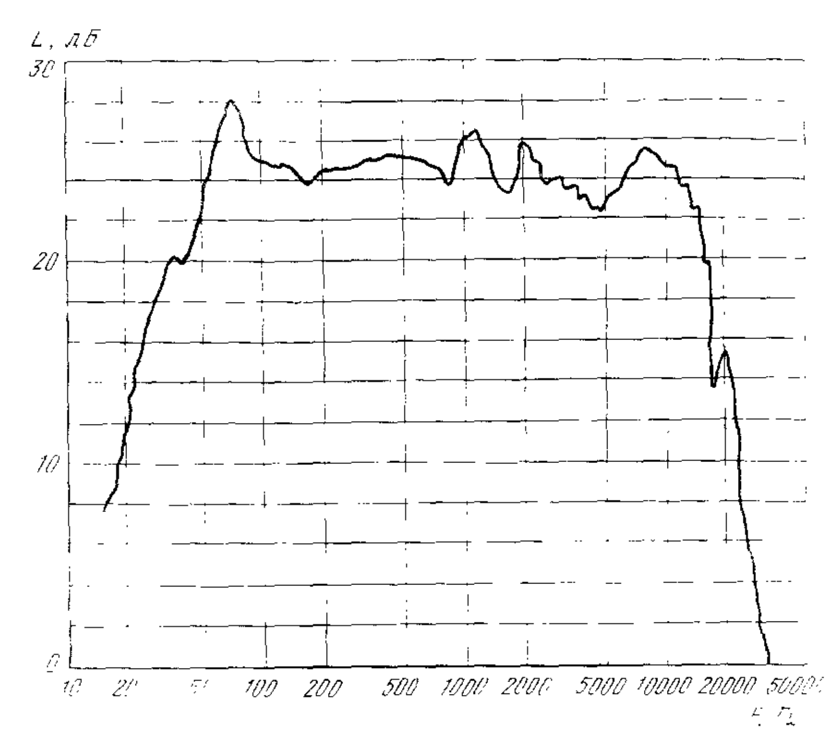


Рис. 31. Амплитудно-частотная характеристика акустической системы 35АС-012

слуха. Например, для типовой длины жилой комнаты l = 5 м первый основной резонанс наступает на частоте 34,3 Гц, а для зала с l = 50 м соответствующая частота уже равна 3,43 Гц.

На собственных резонансных частотах жилого помещения имеют место стоячие волны звукового давления с разностью значений давления в узлах и пучностях до [illegible] дБ. Из-за этого слушатель ощущает искажения соотношения громкостей звуков различных частот, изменение тембровой окраски музыки. При изменении частоты и громкости излучаемых звуков наблюдается искажение стереопанорамы: происходит перемещение в пространстве кажущихся источников звука.

Таким образом, большое влияние на неравномерность АЧХ звуковоспроизводящего тракта в целом оказывают АС и комната прослушивания.

Цель применения эквалайзеров заключается в том, чтобы [illegible]

С помощью эквалайзера можно создать звуковую окраску программы [illegible] качество звукового материала при записи на магнитофон или перезаписи, уменьшить шумы, устранить фон [illegible]. Эквалайзер позволяет при прослушивании [illegible]

Эквалайзер — это система многополюсных резонансных электрических фильтров, перекрывающих весь диапазон звуковых частот (20...20 000 Гц или 10 октав), причем в каждой полосе этих фильтров могут независимо регулироваться оператором коэффициент передачи, полоса пропускания и центральная частота. Для слушателя с нормальным слухом вполне достаточен октавный шаг регулирования частоты. Октава — это полоса частот, верхняя граница которой вдвое больше нижней, например 125 Гц, 250 Гц и т.д.

Эквалайзеры, имеющие более узкие полосы частот, — полуоктавные, третьоктавные позволяют более точно выравнивать АЧХ тракта. Однако управлять такими корректорами очень сложно.

По функциональным возможностям эквалайзеры разделяются на корректоры с фиксированными центральными частотами и неизменной шириной полосы пропускания фильтров и корректоры, в которых возможно изменение центральной частоты и ширины полосы. В корректорах первого типа АЧХ изменяется регулировкой только коэффициента передачи каждого фильтра. Для получения постоянной АЧХ звукового тракта нужно установить в определенное положение движок регулятора каждой полосы. Положения движков образуют точки компенсирующей кривой — графика. Отсюда название таких эквалайзеров — *графические*.

Корректоры второго типа позволяют менять параметры каждого полосового фильтра и поэтому называются *параметрическими*. Параметрический эквалайзер обычно состоит из трех универсальных фильтров: низких, средних и высоких частот. Эти фильтры позволяют корректировать АЧХ именно в той части звукового диапазона, где это необходимо, благодаря независимой регулировке частоты настройки, полосы пропускания и уровня усиления каждого фильтра. Параметрические эквалайзеры имеют небольшое число полос (4—6), при этом центральные частоты этих фильтров можно изменять в диапазоне 2 — 4 октав. Фильтры с переменной добротностью позволяют эффективно ликвидировать неравномерность АЧХ в виде провалов и узких пиков. Параметрический эквалайзер позволяет корректировать звуковой тракт с бо́льшей точностью и оперативностью, чем, например, десятиполосный графический эквалайзер.

Большинство эквалайзеров построено так, что при нулевом положении регулятора коэффициент передачи равен 1 или 0 дБ.

Номинальный входной уровень сигнала для эквалайзеров принят 1 В. Как правило, эквалайзеры имеют диапазон регулировки коэффициента усиления ± 12 дБ, однако встречаются отдельные модели с глубиной регулировки ± 22 дБ. Графические эквалайзеры представляют собой октавные корректоры с числом полос 8 — 12. Большинство эквалайзеров выпускается в виде отдельных блоков, подключаемых в усилительный тракт между УП и УМ. Отдельные типы полных усилителей ("Бриг-001" и др.) имеют специальное гнездо для подключения эквалайзера, его можно подключить между входом усилителя и линейным выходом магнитофона или корректирующего усилителя электропроигрывателя.

Серийно выпускаемый эквалайзер "Орбита-ЭК-002" представляет собой стереофонический графический октавный эквалайзер с шириной полосы пропускания каждого фильтра одна октава, с числом полос регулирования в каждом канале 10 и центральными частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000; 16 000 Гц.

Диапазон регулирования АЧХ каждого фильтра ± 12 дБ (основные технические характеристики эквалайзеров, выпускаемых промышленностью, приведены в приложении 8).

Выравнивание АЧХ тракта можно производить как с помощью измерительных приборов, так и на слух. Очевидно, что более точную настройку можно выполнить только с помощью приборов. Для этого на вход звукоусилительной системы подают синусоидальный или шумовой сигнал от генератора, измерительной пластинки или тест-ленты. В месте прослушивания устанавливается измерительный микрофон, сигнал которого поступает на измерительный усилитель или анализатор спектра. При настройке с помощью синусоидального сигнала сначала устанавливают регуляторы эквалайзера в среднее положение и снимают АЧХ тракта. При этом настройку производят раздельно при включении левого и правого каналов звукопроизводящего тракта, а уровень сигнала устанавливают таким, чтобы внешние акустические шумы практически не сказывались на результатах измерений. Выбрав на измеренной АЧХ некоторый средний уровень, с помощью движков эквалайзера производят подстройку АЧХ с целью получения минимальных отклонений от него во всем диапазоне частот. Этот процесс требует значительного времени и при достаточном числе регулировок позволяет устранить основные разонансы АС, комнаты прослушивания и выравнить АЧХ тракта с минимальными отклонениями.

Пока нет единого мнения специалистов о месте расположения микрофона при проведении коррекции. При расположении микрофона в ближней зоне на расстоянии 0,5...1 м от АС преобладает поле прямого звука и реверберационным полем помещения можно пренебречь. В этом случае проводится выравнивание АЧХ в основаном АС. При расположении микрофона в дальней зоне, как правило, в месте прослушивания преобладает диффузное поле помещения, и в этом случве проводятся коррекции АЧХ помещения.

Результаты многочисленных субъективных экспертиз показывают, что после проведения коррекций заметно улучшается качество звучания. Прослушивание даже на больших уровнях не вызывает раздражения и усталости, ощущается "прозрачность" и "воздушность", четко выделяются звучания отдельных инструментов, исчезают побочные резонансы.

Глава 9
АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Акустические системы являются едва ли не самым важным звеном тракта звуковоспроизведения, так как в итоге именно от параметров громкоговорителя и его качества зависит качество звучания стереоустановки. Излученный громкоговорителем звук практически уже нельзя исправить никакими корректирующими системами, поэтому объяснимы особо жесткие требования, предъявлвемые к высококачественным АС.

Акустической системой принято называть одну или несколько динамических головок, равмещенных в специальном акустическом ящике (акустическом оформлении). В АС, предназначенных для высококачественного воспроизведения, применяют несколько головок, каждая из которых воспроизводит определенную полосу частот: низкочастотную (НЧ), среднечастотную (СЧ), высокочастотную (ВЧ). Для разделения полос используют фильтры нижних, верхних частот и полосовые.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Акустическая система любого типа характеризуется показателями, определяющими эффектнаность и качество ее работы. Важнейшие из них: чувствительность (отдача), диапазон воспроизводимых частот и неравномерность частотной характеристики по звуковому даалению в пределах этой полосы частот, номинальная мощность

и соответствующий ей коэффициент нелинейных искажений, паспортная мощность, входное сопротивление.

Чувствительность АС — звуковое давление, развиваемое АС на расстоянии 1 м по ее оси при подведении к ее зажимам сигнала мощностью в 1 Вт. По определяемой таким образом чувствительности можно судить о работе одной и той же АС на различных частотах. В большинстве моделей АС категории Hi — Fi уровень чувствительности составляет 86... 90 дБ (в технической литературе он часто записывается в виде 86 дБ/м · Вт). В последние годы появились высококачественные широкополосные АС с высокой чувствительностью 93...95 дБ/м · Вт.

Более удобная характеристика — стандартное звуковое даление, под которым подразумевается звуковое давление, развиваемое АС при подведении к ней электрической мощности 0,1 Вт в точке на расстоянии 1 м и расположенной по ее оси.

Среднее развиваемое звуковое давление АС 1,2...1,7 Па, у АС с высокой чувствительностью — 2...2,8 Па, что соответствует уровню звукового давления 96...102 дБ.

Эффективно воспроизводимый диапазон частот — диапазон, в пределах которого уровень звукового давления понижается на некоторое заданное значение по отношению к уровню, усредненному в определенной полосе частот. Диапазон воспроизводимых частот АС зависит от частотных характеристик отдельных динамических головок, от конструкции ящика, а также от параметров разделительных фильтров.

В соответствии с ГОСТ 23262 — 83 минимальные требования по этому параметру для АС категории Hi — Fi состаляют 40... 16 000 Гц при спаде 4 дБ по отношению к уровню, усредненному в полосе частот 100...8000 Гц.

Амплитудно-частотные характеристики АС представляют в графической форме в виде зависимости уровня звукового давления от частоты в логарифмическом масштабе (см. рис.31). Под *уровнем звукового давления* понимают отношение измеренного значения звукового давления к нулевому его значению $2 \cdot 10^{-5}$ Па, выраженное в децибелах.

Неравномерность АЧХ — отношение максимального звукового давления к минимальному или отношение максимального (минимального) значения к среднему в заданном диапазоне частот, выраженное в децибелах. В лучших моделях АС достигнута неравномерность ±2 дБ. Амплитудно-частотные искажения субъективно воспринимаются как искажения тембра звучания, к которым слух очень чувствителен. Пороговое значение воспринимаемых неравномерностей в среднем составляет 2 дБ; чувствительность к обнаружению пиков значительно выше, чем к обнаружению провалов, причем уровень этой чувствительности зависит от ширины (добротности) пика-провала и местоположения его на спектральной огибающей прослушиваемого сигнала.

Отметим, что форма АЧХ в большей степени определяют качество звучания на низких частотах.

При гладкой частотной характеристике АС, когда неравномерность "размыта", т.е. не имеет больших перепадов, звучание имеет мягкий, "ненавязчивый" характер, при этом хорошо прослушиваются все инструменты басовой группы.

Поскольку идентичность АЧХ в стереопарах очень важна для локализации стереообраза, в аппаратуре Hi — Fi нормируется допустимое расхождение АЧХ в АС, используемых в стереопаре: оно не должно превышать 2 дБ при сравнении уровня $P_{ср}$ усредненного в одинаковых октавах в диапазоне 250...8000 Гц.

Номинальная мощность АС — это подводимая к ней мощность от усилителя, при которой нелинейные искажения не превышают допустимого значения. Номинальную мощность АС выбирают из ряда: 3, 6, 10, 15, 25, 35, 50, 75, 100 Вт. На практике принято характеризовать АС по паспортной (максимальной) мощности.

За *паспортную мощность* принимают наибольшую неискаженную мощность усилителя, от которого АС может длительное время работать. Паспортная мощность различных АС может превышать номинальную в 1,5 — 3 раза.

Паспортная мощность громкоговорителей позволяет выбрать усилитель с учетом достаточного резерва мощности для неискаженной передачи импульсных всплесков музыкальных сигналов, достигающих десятикратного значения номинальной мощности.

В силу конструктивных и технологических особенностей АС, как правило, вносят наибольшие нелинейные искажения по сравнению с остальными звеньями звуковоспроизводящего тракта. Нелинейные искажения могут достигать 3 %, причем если в области высших частот искажения вносят сами головки, то в области низших частот (до 300...400 Гц) играет роль акустическое оформление. Входное сопротиаление АС имеет два номинальных значения — 4 или 8 Ом.

Следует особо сказать о демпфировании громкоговорителя. Динамическая структура музыкальных передач имеет импульсный характер. Музыка представляет собой непрерывный ряд следующих друг за другом изменяющихся звуковых импульсов различной продолжительности, интенсивности и частоты. Хороший громкоговоритель должен иметь такие переходные характеристики, которые обеспечивают точное преобразование электрического импульса в звуковой, т.е. сохранение формы и продолжительности импульса.

Переходные характеристики громкоговорителя зависят от величины тормозящего усилия, вызванного индуцированной в катушке громкоговорителя ЭДС и механическими потерями в подвижной системе. Недостаточное демпфирование громкоговорителя и его диффузора характеризуется наличием на его частотной характеристике максимумов и минимумов.

При слабом демпфировании затухание собственных колебаний подвижной системы громкоговорителя на частоте основного резонанса может продолжаться довольно долго (0,1...0,15 с).

Вследствие этого они могут попасть на следующий звуковой импульс и значительно исказить сигнал, сопровождая его призвуками, отсутствующими в передаваемом сигнале. Для устранения подобных искажений применяют электрическое и акустическое демпфирование.

Электрическое демпфирование сводится к снижению выходного сопротивления усилителя. Дело в том, что при колебаниях звуковой катушки в ней наводится ЭДС, создающая ток, противодействующий свободным перемещениям катушки, т.е. тормозящий ее колебания. Чем меньше выходное сопротивление усилителя, шунтирующее звуковую катушку, тем больше наведенный ток и тем большее создается торможение. Следовательно, низкое выходное сопротивление усилителя яаляется обязательным условием повышения качественных показателей усилителя.

Акустическое демпфирование производится с помощью пористого звукопоглощающего материала, которым заполняется закрытый ящик с громкоговорителем. Акустическое демпфирование эффективно действует от самых нижних звуковых частот до 4...5 кГц, обеспечивая хорошие переходные характеристики громкоговорителя.

Однако акустическое демпфирование создает "завал" частотной характеристики в области нижних частот.

Акустическая система должна быть согласована с УЗЧ по входному сопротивлению, а также по мощности.

Номинальное полное электрическое сопротивление определяется наименьшим значением модуля полного электрического сопротивления АС в диапазоне частот выше

частоты основного резонанса. Для согласования АС с УЗЧ по полному сопротивлению необходимо, чтобы минимальное значение модуля этого сопротивления АС не было ниже номинального на 20 % в диапазоне эффективно воспроизводимых частот и не было ниже номинального на 50 % за пределами диапазона.

Акустическая система и УЗЧ яаляются согласованными по мощности, если при равном номинальном сопротивлении они имеют равные значения мощностей. При этом номинальная мощность УЗЧ не должна превышать номинальную мощность АС, а максимальная мощность УЗЧ не должна превышать паспортную мощность АС. Акустическая система и УЗЧ будут согласованы по частотному диапазону, если диапазон воспроизводимых частот по звуковому давлению совпадает с диапазоном эффективно усиливаемых частот. Если нижняя граничная частота усилителя меньше резонансной частоты головки громкоговорителя АС, то усиливаются частоты, которые не воспроизводятся громкоговорителем. Это создает для АС нежелательный режим работы, так как АС может воспроизводить комбинационные частоты, которых нет в передаваемом сигнале.

Акустические системы по электрическим и электроакустическим параметрам подразделяются на четыре группы сложности: 0-, 1-, 2- и 3-ю, причем модели высшей и первой групп отвечают требованиям междунардиого стандарта на системы категории высокой верности (Hi — Fi), обеспечивающие наиболее высокое качество звуковоспроизведения.

В табл. 23 приведевы основные параметры АС (ГОСТ 23262 — 83, ОСТ 24307 — 80).

Частотные характеристики должны укладываться в поле допусков, изображенном на рис. 32,*а* — *в* (рис. 32,*а* справедлив для АС высшей (0-й) группы сложности; рис. 32,*б* и *в* — для АС 1- и 2-й групп сложности соответственно).

Таблица 23

Параметр	Норма по группе сложности			
	0-я	1-я	2-я	3-я
1. Диапазон воспроизводимых частот, Гц, не уже	25...25 000	40...16 000	63...12 500	100...8000
2. Отклонение частотных характеристик звукового давления, дБ, не более	2	3	4	—
3. Среднее звуковое даление при номинальной электрической мощности, Па (дБ), не менее, в диапазоне частот, Гц:				
100 ... 8000	1(94)	1(94)	0,8(92)	—
200 ... 4000	—	—	—	063(90)
4. Коэффициент гармоник, %, не более, в диапазонах частот, Гц:				
250 ... 1000	2	2	3	4
1000 ... 2000	1.5	1.5	2.5	3
2000 ... 6300	1	1	2	3
5. Электрическое сопротивление: номинальное значение, Ом	4 или 8	4 или 8	4 или 8	4 или 8
6. Масса, кг, не более	63	20	12,5	5

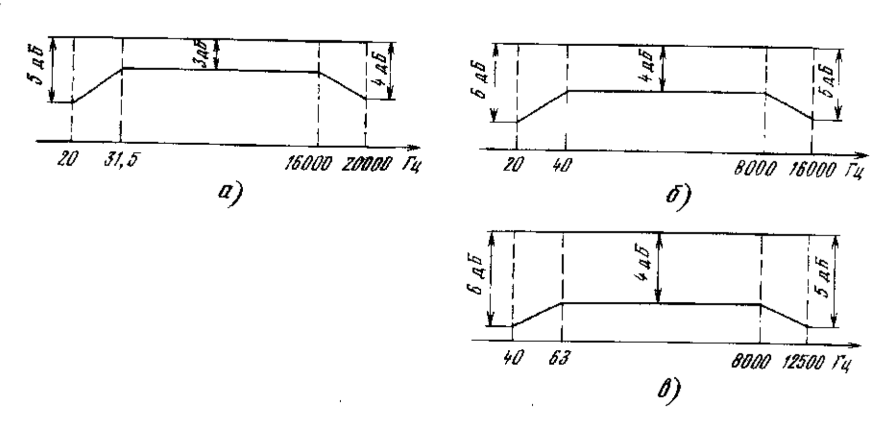


Рис. 32. Поле допусков частотной характеристики акустических систем для АС высшей группы сложности (*а*); 1-й группы сложности (*б*) и 2-й группы сложности (*в*)

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Высококачественная АС представляет собой многополосвую систему, в которой отдельные головки громкоговорителей работают в ограниченных областях частот. Это обусловлено тем, что при построении АС по многополосной схеме значительно улучшается качество звучания. Однополосная система построения в высококачественных АС практически не применяется. Оптимальным считается число полос в АС, равное трем, хотя ряд зарубежных фирм выпускает как двухполосные, так и четырех-, пятиполосные АС с высокими техническими характеристиками.

Большую роль в создании АС с высококачественным звучанием играет акустическое оформление. При создании АС высокого класса наиболее часто применяются два варианта оформления. Первый вариант — закрытый ящик. Размер ящика по существу определяет нижнюю граничную частоту АС. Для получения хорошей частотной характеристики АС требуется динамическая головка громкоговорителя с низкой резонансной частотой.

Вторым вариантом акустического оформления АС является ящик-фазоинвертор. Конструктивно этот вариант не сложнее закрытого ящика. Но отверстие определенного размера в передней панели позволяет увеличить звуковое давление в области низких частот. Это происходит вследствие сложения звуковых полей, образуемых передней и тыльной сторонами диффузора головки громкоговорителя. Эти АС при равном объеме с закрытыми АС способны лучше воспроизводить низкочастотные сигналы.

В настоящее время выпускаются оба варианта АС как на отечественном рынке, так и за рубежом. В качестве примера закрытых АС можно привести модель 35АС-028, а фазоинверторных — 35АС-012 (S-90) и 35АС-016. Отечественная промышленность выпускает более 30 различных моделей АС. Основные параметры моделей АС представлены в приложении 9.

Известно, что эмоциональное воздействие музыки, звучащей в концертных залах, много сильнее, чем той же музыкальной программы, воспроизведенной бытовой АС в домашних условиях. Это связано прежде всего с тем, что динамический диапазон и максимальный уровень звукового даалення, обеспечиваемый бытовыми АС, заметно

ниже, чем аналогичные показатели музыкальных инструментов, звучащих в концертных залах.

Так, наиболее распространенные АС (35АС-012 и т. п.), имеющие чувствительность 86 дБ/м·Вт, не способны обеспечить пиковые уровни звукового даaления оркестра. Приходится либо мириться с ограничением пиков сопровождающимися характерными нелинейными и динамическими искажениями, либо снижать средний уровень громкости, что из-за особенностей слуха также нарушает субъективное восприятие реальной музыкальной программы.

Для обеспечения высокой верности воспроизведения необходимо использовать АС с расширенным динамическим диапазоном, который обеспечивают головки с чувствительностью 92 ... 94 дБ/м·Вт. Столь высокие уровни мощности АС и соответственно УЗЧ необходимы не для увеличения среднего уровня громкости, а для обеспечения неискаженного воспроизведения пиков записанных программ.

Такими характеристиками, например, обладает акустическая система "Корвет 75АС-001", которая может создавать уровень звукового давления 110 дБ. Это позволяет использовать АС не только с обычным источником сигнала, но и с цифровым лазерным проигрывателем.

Специально для 75АС-001 разработан комплект динамических головок громкоговорителей для воспроизведения нижних, средних и верхних частот: 100ГДН-3, 30ГДС-1, 10ГДВ-4. Благодаря их применению достигнуты высокая чувствительность и большая номинальная мощность АС. Рациональное конструирование с помощью ЭВМ узлов динамических головок позволило получить эффективное электроакустическое преобразование с малыми нелинейными искажениями.

Сложные разделительно-корректирующие фильтры, спроектированные методами оптимального синтеза, обеспечивают в АС линейность амплитудной и фазочастотной характеристик звукового даaления. При появлении перегрузки устройство защиты снижает сигнал до безопасного уровня раздельно для каждой головки. О возникновении перегрузки предупреждает свечение индикаторов, расположенных на передней панели АС. Чтобы достичь максимальной эффективности при заданной нижней граничной частоте 25 Гц, корпус системы имеет фазоинвертор.

Для уменьшения вибраций корпус объемом 60 л сделан максимально жестким, со стяжками и ребрами жесткости, а его внутренний объем заполнен высокоэффективным демпфирующим и звукопоглощающим материалом.

Перспективным путем улучшения характеристик АС оказался принцип активной акустической системы (АСА). Здесь в одном корпусе конструктивно объединены громкоговорители и УМ. Усилитель мощности в АСА может быть один, а может быть на каждую головку громкоговорителя собственный. В последнем случае разделение на частотные полосы осуществляется разделительными фильтрами на входах усилителей, что исключает дополнительные потери мощности и уменьшает искажения. При этом надо отметить, что стоимость АСА сравнима со стоимостью пассивных АС с отдельным УМ. В качестве примера можно привести модель 35АС-013 (S-70). В этой трехполосной модели размещение УМ в корпусе АС сделало возможным охватить обратной связью и перемещения диффузора низкочастотной головки громкоговорителя с помощью электромеханической обратной связи (ЭМОС).

Как известно, в АС с ЭМОС используется отрицательная обратная связь от колебаний подвижной системы головки, ускорение которой пропорционально звуковому давлению системы. При этом ЭДС, создаваемая колебаниями подвижной системы

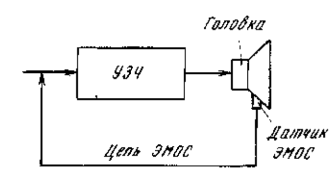


Рис. 33. Схема, с помощью которой выполнена ЭМОС

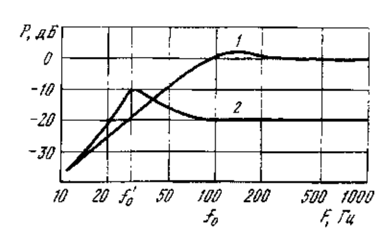


Рис. 34. Частотные характеристики АС с ЭМОС

(рис. 33), подается на вход усилителя в противофазе с входным напряжением. Электромеханическая обратная связь позволяет решить две задачи: расширить воспроизводимый диапазон частот в более низкочастотную область и уменьшить коэффициент гармоник в области низких частот.

На рис. 34 приведены типичные частотные характеристики АС без ЭМОС (1) и с ЭМОС (2). Как видно, частотная характеристика АС расширяется в сторону более низких частот (в данном примере от 100 до 32 Гц). Однако введение ЭМОС понижает уровень звукового давления (в данном примере на 10 дБ). Поэтому, чтобы получить прежний уровень звукового давления, необходимо увеличить мощность оконечного усилителя.

Электромеханическая обратная связь в 35АС-013 реализована только в области низших частот звукового диапазона, в качестве датчика ускорения подвижной системы динамической головки использован трубчатый пьезокерамический элемент ЭП4Т-2. Применение ЭМОС позволило значительно снизить нелинейные искажения в области этих частот и без ухудшения других акустических параметров уменьшить объем громкоговорителя до 40 $дм^3$ (для сравнения: объем 35АС-012— 73 $дм^3$).

Громкоговоритель предназначен для работы с ПУ, снабженным регуляторами громкости и тембра. Наличие двух активных входов ("Левый" и "Правый") позволяет объединять громкоговорители в стереофоническую АС, соединяя кабелем с предварительным усилителем только один из них. Кроме того, имеется пассивный вход, к которому можно подключить внешний УМ. В системе 35АС-013 предусмотрены плавная регулировка тембра на средних и высших частотах номинального диапазона частот, индикация уровня выходного сигнала (0, —6, —12, —20, —30 дБ) и перегрузки (+3 дБ), подключение к сети.

В акустической системе 35АС-021 в качестве НЧ, СЧ и ВЧ звеньев использованы новые динамические головки. Впервые в отечественной практике создан низкочастотный громкоговоритель с плоским диффузором сотовой конструкции. В СЧ и ВЧ головках использованы купольные диффузоры из алюминиевой фольги.

При небольших геометрических размерах АС имеет минимальные нелинейные искажения, а также расширенную зону стереоэффекта.

С каждым годом расширяется номенклатура АС, использующих нетрадиционные излучатели динамического (изодинамические, ленточные и др.) и нединамического (электростатические, электретные, пьезопленочные и др.) типов. В основном эти излучатели применяют в качестве высокочастотного звена АС.

В трехполосной акустической системе 25АС-027 впервые в отечественной практике применена высокочастотная изодинамическая головка.

Изодинамический излучатель 1 ОГИ-1 в качестве излучающего элемента имеет тонкую диэлектрическую мембрану, на которую методом напыления нанесен провод-

ник в форме прямоугольной спирали. Мембрана помещается в зазоре между параллельными магнитами.

Изодинамическая головка обеспечивает низкие переходные и фазовые искажения и расширенную полосу воспроизводимых частот — 2,0 ... 30 кГц. Наиболее распространена модель 35АСДС-017. Это — трехполосная АС диностатического типа, в которой в качестве низкочастотного звена использована динамическая головка громкоговорителя 75ГДН-3, а в качестве средне- и высокочастотного звеньев — электростатические головки громкоговорителей (СЧ — 2 шт., ВЧ — 2 шт.). Акустическое оформление НЧ звена — фазоинвертор. Частоты разделения фильтров — 500 Гц и 4 кГц.

Излучающим элементом электростатических головок громкоговорителей является тонкая (6 мм) лавсановая металлизированная пленка. Использование такой тонкой эластичной пленки — мембраны, масса которой соизмерима с колеблющейся массой воздуха, обеспечивает почти безынерционный режим возбуждения среды. В отличие от диффузорных громкоговорителей сила, приводящая в движение мембрану, распределена равномерно по всей ее площади. Электроакустические головки громкоговорителей отличаются весьма малыми переходами, фазовыми, частотными и нелинейными искажениями. Именно поэтому АС гарантирует высокую четкость звука, прозрачность, тембральную частоту, не утомляет слушателя, создает хороший стереоэффект и эффект "присутствия".

В АС обеспечивается плавная регулировка тембра ВЧ, позволяющая в определенных пределах (5 дБ) изменять тембральную окраску звука.

Акустическая система может использоваться с усилителями, развивающими максимальную выходную мощность не более 50 Вт на нагрузке 4 Ом.

Конструктивно 35АСДС-017 оформлена в виде двух блоков: фазоинвертора и устанавливаемого на нем блока формирования высокого напряжения с панелью электростатических головок (рис. 35). Головки размещены на ней таким образом, что излучение одной пары (СЧ и ВЧ) направлено на уровень головы стоящего человека, а другой — сидящего. Среднее расстояние до АС 1 ... 3 м.

В последнее время наметилась тенденция к миниатюризации как всей массовой БРЭА, так и массовых АС. Малогабаритная БРЭА позволяет потребителю удачно размещать аппаратуру, не нарушая сложившегося интерьера. Но все малогабаритные АС имеют малый КПД, т.е. требуют мощных усилителей, а также имеют повышенные нелинейные искажения.

Нетрадиционным решением построения малогабаритных АС следует считать принцип излучения низкочастотных составляющих обоих каналов стереосигнала одним излучателем. Конструктивно такая АС состоит из трех законченных блоков и называется трехкомпонентной или трифонической. Как известно, стереоэффект наиболее ярко выражен в области средних частот (200 ... 1000 Гц). Поэтому оправдано применение одного низкочастотного излучателя, работающего на частотах ниже 200 Гц.

Средне- и высокочастотные головки громкоговорителей располагаются в других блоках отдельно от каждого стереоканала. Они имеют малые габаритные размеры и мас...

Примером трифонической системы может служить модель "Орбита 75АС3-00...

Известно, что качество звучания АС в большой степени зависит от характера воспроизведения средних частот. Эти частоты (примерно 250 ... 5000 Гц) определяют звонкость, "прозрачность" звука, способствуют раздельному восприятию звучания отдельных инструментов оркестра. Именно здесь, как мы знаем, слух наиболее чувствителен ко всякого рода искажениям сигнала — временным, интермодуляционным, частотным и нелинейным. К этому следует добавить, что именно на эту область част...

приходится максимум спектральной плотности почти для всех видов музыкальных программ.

Рис. 35. Общий вид АС синостатического типа 35АСДС-017

Для воспроизведения средних частот в отличие от низких не требуется большой объем акустического оформления. Поэтому совсем необязательно для получения хорошего звучания иметь АС большого объема. Возможно, что такие АС, эффективно воспроизводя низкие частоты, средние частоты воспроизводят тускло и невыразительно. Трехполосные АС должны звучать лучше двухполосных, но не всегда это практически реализуется.

При выборе АС основными критериями должны быть собственный вкус и опыт слушателя. Не следует переоценивать объективные характеристики акустических систем, содержащиеся в заводских инструкциях. Качество звучания не всегда соответствует высоким объективным характеристикам, а потому АС необходимо внимательно слушать, желательно в сравнении.

При эксплуатации малогабаритных АС некоторый дефицит низких частот компенсируют регулированием тембра низких частот. К такому регулированию приходится прибегать и при выборе места расположения АС в помещении. Следует только учитывать, что при подъеме низких или высоких частот с помощью регуляторов тембра увеличивается мощность сигнала, поступающего на соответствующую головку громкоговорителя, что может внести дополнительные искажения.

Как показывает опыт эксплуатации звуковоспроизводящих устройств, при наличии высококачественной аппаратуры и АС во время прослушивания грампластинок или высококачественных фонограмм практически никогда не возникает дефицита высоких частот и соответственно желания поднимать их уровень регулятором тембра. Подавляющее большинство музыкальных программ звучит звонко и при линейной форме частотной характеристики электрического тракта в области высоких частот.

Глава 10

ПРОСЛУШИВАНИЕ СТЕРЕОПРОГРАММ

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Каждая жилая комната имеет свои особенности, размеры, меблировку. Здесь важно, не нарушая эстетики помещения, так расположить аппаратуру, чтобы она дала наилучший стереоэффект.

Не рекомендуется размещать электропроигрыватель, магнитофонную приставку и АС на одной несущей поверхности (столе, тумбе, полке, стеллаже и пр.) или в

непосредственной близости от них. Вибрация корпуса АС от работающих громкоговорителей и действие звуковых волн может вызывать механические колебания платы ЭПУ и передаваться звукоснимателю, которые воспринимаются на слух в виде гула. завывания звука, т.е. подчеркивание низких по тональности музыкальных нот.

При прослушивании стереопрограммы следует выполнять несколько рекомендаций:

необходимо убедиться в том, что в используемой аппаратуре каналы на входе соответствуют каналам на выходе, т.е. сигналы левого и правого каналов источника стереопрограммы проходят в АС, расположенные соответственно слева и справа от слушателя.

Если при этом источником стереопрограммы является грамзапись, то желательно проверить соответствие каналов тракта воспроизведения грамзаписи (от иглы головки звукоснимателя до АС) с помощью специальной стереофонической демонстрационной грампластинки. Если же источником стереопрограммы является магнитофонная запись или принимаемая радиостанция (в диапазоне УКВ), то проверку расположения каналов в соответствующем тракте осущесталяют с помощью специальной тест-ленты или тест-радиосигнвлов, передаваемых перед началом стереопередач;

следует проверить, чтобы АС в стереоаппаратуре были включены в фазе, т.е. должна быть соблюдеиа полярность включения АС в выходиые гнезда усилителя НЧ.

Это можио прокоитролировать следующим образом. При подаче на обе АС одинаковых (по фазе) импульсов (например, подключая батарейки) диффузоры низкочастотных головок громкоговорителей в обеих АС должны сместиться в одном и том же направлении.

Для обеспечения одинаковой полярности подключения АС в промышленной стереоаппаратуре вилки соединительных шнуров и гнезда для подключения АС имеют асимметричную конструкцию, что обеспечивает их подключение строго в определенном положении. В других случаях для этого наносится соответствующая маркировка на гнезда (или клеммы) для подключения, на соединительные шнуры и на АС (если соединительные шнуры могут отключаться от АС).

Для обеспечения правильной полярности включения головок громкоговорнтелей в АС около соответствующего вывода головки (обычно около положительного вывода наносится маркировка (цветная метка, "+" и др.).

В домашних условиях фазировку включения АС в стереоаппаратуре можно проверить так. При прослушивании программы (или включении режима "Моно" работы стереоаппаратуры) слушатель должен находиться в том месте, где осуществляется эффект звучания. исходящего из одной точки (регулятор стереобаланса при этом должен быть в среднем положении).

Если этот эффект не ощущается и достигается только при крайних положениях регулятора стереобаланса, то это означает, что полярность включения одной из АС неправильна.

При самостоятельном укомплектовании радио- и звуковоспроизводящей аппаратуры акустическими системами необходимо, чтобы, во-первых, номинальное электрическое сопротивление АС соответствовало выходному сопротивлению тракта НЧ и, во-вторых, ее паспортная мощность была равна или больше максимальной (или музыкальной) выходной мощности тракта НЧ (особенно в тех случаях, когда слушатель предпочитает прослушивать с большой громкостью при положении регулятора тембра, соответствующем максимальному подъему частотной характеристики).

ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Длительное наблюдение за качеством работы стереофонических установок в жилых помещениях позволило сформулировать основные требования к размещению АС в зависимости от размеров комнаты. На рис. 36 приведено схематическое изображение прямоугольной комнаты с размещенной в ней стереофонической установкой. Расстояние между громкоговорителями (база) обозначено буквой а, расстояние от громкоговорителей до центра зоны стереоэффекта — б, сама зона заштрихована. Точка А — место наилучшего восприятия стереоэффекта.

При размещении в центре и подаче на громкоговорители сигналов одинаковой мощности у слушателя возникает иллюзия, что источник звука находится точно посередине между громкоговорителями.

Очевидно, что при прослушивании стереофонической программы мощности сигналов, подводимых к каждому громкоговорителю, будут изменяться и у слушателя создастся впечатление о перемещении источников звука от одного громкоговорителя к другому. Обычно расстояние между АС (базу) выбирают 1,5 ... 3 м в зависимости от размеров комнаты и числа слушателей.

С увеличением базы зона стереофонического эффекта расширяется. Однако увлекаться увеличением стереобазы не следует, так как может появиться так называемый "провал" в зоне образования стереоэффекта. При этом слушатель воспринимает стереозвучание разделенным на две части, исходящие с левой и правой стороны. И, наоборот, значительное сближение АС (уменьшение стереобазы) приводит к резкому уменьшению в помещении зоны стереофонического эффекта.

С некоторым снижением стереофонического эффекта можно прослушивать стереозвучание и не находясь на одинаковом расстоянии от АС. Но в любом случае необходимо регулятором стереобаланса (или регулятором громкости, если в аппаратуре предусмотрена разделительная регулировка громкости в каналах) так сбалансировать уровни сигналов в каналах, чтобы при прослушивании монозвучания слушатель воспринимал звучание из пространства между системами.

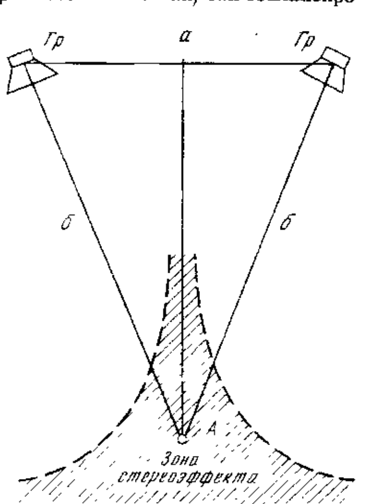


Рис. 36. Размещение акустических систем в помещении для прослушивания стереопрограмм

При этом следует учитывать и такие факторы: пределы регулировки сигналов в каналах регуляторов стереобаланса невелики (обычно около 10 дБ) и излучение АС на верхних частотах звукового сигнала обладает значительно большей направленностью, чем на нижних (напрааленность излучения на верхних частотах звукового сигнала в большой степени зависит от конструкции диффузора излучающей головки громкоговорителя).

Расстояние а и б можно определить по данным табл. 24, составленной применительно к комнате с соотношением длин сторон 4:5. Например, если комната имеет размеры 4,5×6 м, т.е. ее площадь 27 м^2, то база должна быть равна 4,5 м. В этом случае расстояние между громкого-

Таблица 24

Размеры помещения, м	Расстояние а (база), м	Расстояние б, м
2,4×3,0	2,4	1,2
3,0×3,6	3,3	2,4
3,6×4,5	3,9	3,0
4,5×6,0	4,5	3,6
5,4×7,2	5,4	4,5

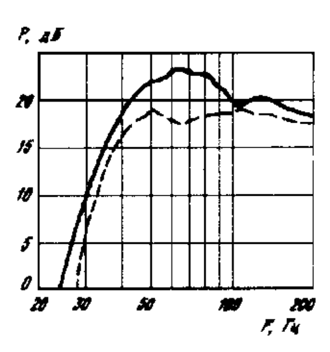


Рис. 37. Зависимость звукового давления, развиваемого громкоговорителем на самых низших частотах, от места его расположения (у стены — штриховая линия, в углу — сплошная)

ворителями и центром зоны стереоэффекта состааляет 3,6 м.

Если помещение сильно заглушено (в жилых помещениях этому способствует мягкая мебель, драпировки, ковры и пр.), то ширина зоны хорошей слышимости стереоэффектов не превышает 0,2 от ширины базы. При ширине базы 1,5 ... 3 м разместить группу слушателей в зоне оптимального стереоэффекта затруднительно.

Для точности воспроизведения имеет значение местоположение АС. Дело в том, что не только субъективное прослушивание, но и объективные измерения одного и того же громкоговорителя в одном и том же помещении, но не расположенного в разных местах, дают большую разницу в воспроизведении различных частот.

Особенности размещения АС связаны с учетом влияния пола и стен на частотную характеристику громкоговорителей в области нижних частот и влияния мебели на воспроизведение средних и высоких частот. При этом оказывается, что близость пола и стен улучшает отдачу на самых низких частотах, но зато вносит дополнительную неравномерность в воспроизведении средних и высших частот.

При размещении громкоговорителя в углу помещения повышается уровень звукового давления на 4 ... 5 дБ по сравнению с уровнем при размещении его у стен (рис. 37). Однако так размешать громкоговорители стереоустановки не следует, и вот почему. Стереоэффект создается в результате изменений фазы и амплитуды звуковых колебаний, излучаемых одновременно обоими громкоговорителями, и качество воспроизведения стереофонических программ во многом зависит от того, насколько точно будут повторены эти изменения.

При размещении громкоговорителей по углам комнаты сильно искажается фаза звуковых волн, в результате чего нарушается первоначальная структура сигналов и происходит ухудшение стереоэффекта. По этой причине громкоговорители стереофонических систем несколько приподнимают над полом, чтобы уменьшить влияние звуковых волн от него так, чтобы высокочастотные головки были расположены на уровне головы сидящего слушателя (обычно 1,2 м от пола). Если установить АС на таком уровне невозможно, поэтому лучше их поместить несколько выше, но не ниже. Необходимо между слушателями и АС убрать все предметы, которые могут вызвать заметное ослабление высших звуковых частот и вследствие этого сузить эффективную зону стереофонического воспроизведения. Не следует размешать АС у батареи и других отопительных систем

Существенное влияние на качество звучания оказывает акустика помещения — в жилых помещениях это степень заглушенности. Чтобы наглядно представить себе влияние заглушенности помещения на характер работы АС, на рис. 38 приведены характеристики звукового давления громкоговорителя, измеренные в помещениях с различным звукопоглощением. Как видно из этого рисунка, в незаглушенном помещении на частотах ниже 400 Гц характеристика (штриховая линия) весьма неравномерна, тогда как в помещении, где все поверхности имеют звукопоглощающие материалы, характеристика (сплошная линия) выравнивается.

Большое влияние на качество воспроизведения оказывает уровень громкости: чем ближе он к уровню звучания натуральных источников, тем больше стереоэффект. В условиях жилой комнаты для создания полноценного стереофонического звучания уровень воспроизведения музыкальных записей желательно иметь не ниже 60 ... 70 дБ (что соответствует громкой речи).

Прослушивание музыкальной программы с меньшим уровнем звучания может привести к кажущемуся изменению между ее частотными состааляющими, что объясняется различной чувствительностью человеческого уха к частотам звукового диапазона. Например, нормально записанная музыкальная программа при прослушивании с уровнем 40 ... 45 дБ из-за плохой слышимости низких и высоких частот будет казаться лишенной сочности звучания. Оптимальный уровень громкости при прослушивании устанавливают достаточно большим — 85 ... 90 дБ (уровень громкости при фортиссимо симфонического оркестра). Однако длительное прослушивание музыки при такой большой громкости весьма утомительно.

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ ГОЛОВНЫЕ ТЕЛЕФОНЫ

Использование стереотелефонов для прослушивания музыкальных программ имеет ряд преимуществ перед громкоговорителями. Если не рассматривать очень дорогие АС, то можно сказать, что качество звучания головных телефонов даже лучше, чем громкоговорителей высокого класса.

Во-первых, диапазон воспроизводимых частот телефонов для высококачественного воспроизведения шире, чем у хорошего громкоговорителя. Большинство стереоте-

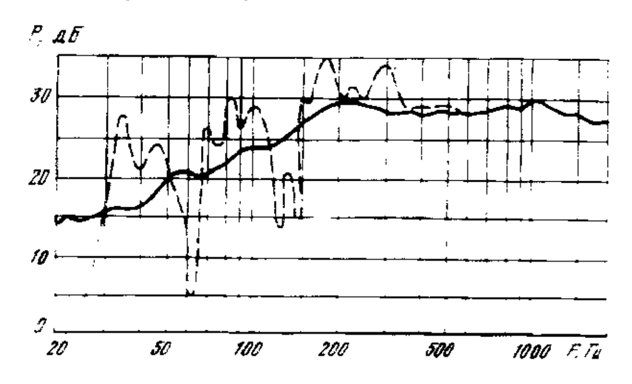


Рис. 38. Сопоставление частотных характеристик громкоговорителей, снятых в незаглушенном (штриховая линия) и заглушенном (сплошная линия) помещениях

лефонов воспроизводят сигналы начиная с частот 18 ... 20 Гц. Такие сигналы воспроизводят далеко не все высококачественные громкоговорители. Обеспечивая широкую полосу частот (20 ... 20 000 Гц), головные телефоны позволяют значительно расширить динамический диапазон прослушиваемой программы вследствие возможности получения больших уровней громкости, отсутствия влияния на качество звучания посторонних шумов и акустики помещения. Форма звукового поля и характеристика направленности телефонного излучателя приближается здесь к идеальной. Такая система может рассматриваться как широкополосный громкоговоритель, расположенный на бесконечном щите. Благодаря малому сопротивлению излучения и минимальным рассеяниям звуковой энергии улучшается его частотная характеристика как в области низших, так и высших звуковых частот.

Во-вторых, нелинейные искажения головных телефонов незначительны что создает особую чистоту и "прозрачность" звучания. В-третьих, через головные телефоны можно получить уровень звукового давления, соответствующий натуральному звучанию при незначительной подводимой электрической мощности. Так, большинство высококачественных головных телефонов развивает уровень звукового дааления в слуховом канале 100 ... 110 дБ при подводимой мощности до 10 мВт. У громкоговорителей такой уровень получить нелегко.

Слушая программу с помощью АС слушатель машинально, подсознательно двигает головой, что алияет на чувство локализации, обусловленной разностью фаз и интенсивностей сигналов, поступающих в оба уха. Характерное расположение телефонов сводит к минимуму фазовые сдвиги между стереофоническими каналами в широкой полосе частот.

Головные телефоны состоят из головки — преобразователя, помещенного в корпусе. Для плотного, но достаточно удобного прилегания к ушной раковине корпус имеет мягкую прокладку — амбушюр, обычно из мягкой резины или поролона, обшитого кожезаменителем. Два корпуса объединены пружинящим оголовьем для удобного расположения телефонов на голове. Оголовье обеспечивает оптимальный прижим телефонов к ушной раковине и содержит механизм регулировки для различных размеров головы слушателя. Некоторые телефоны имеют расположенные на корпусе регуляторы громкости и тембра. К левому и правому телефонам подводнтся сигнал соответствующего канала стереофонического усилителя. Стереотелефоны подключаются к усилительным устройствам с помощью трехпроводного шнура и стандартного соединителя.

Для хорошей работы телефонов достаточна выходная мощность 10 ... 20 мВт, что позволяет получать минимальный коэффициент нелинейных искажений и прослушивать программы совершенно не беспокоя окружающих.

Основные характеристики головных телефонов соответствуют характеристикам АС. Лучшие модели современных головных телефонов имеют диапазон частот 16...20000 Гц. Неравномерность характеристики не превышает 10...15 дБ. Коэффициент нелннейных искажений высококачественных телефонов обычно составляет 0,5 – 1,5 %. номинальное сопротивление 16 Ом (низкоомные) или 100 Ом (высокоомные).

Одной из характеристик высококачественных телефонов является способность изолировать слуховой аппарат от внешнего шума. Этот параметр определяет эксплуатационные удобства телефонов и зависит от конструктивных особенностей.

Стереофонические телефоны позволяют получать высокое качество звучания, поскольку не являются излучающим звук устройством — они создают звуковое давле-

ние в слуховом канале. Акустическая обстановка помещения не оказывает своего неблагоприятного влияния.

Стереофонические телефоны незаменимы и при контроле качества стереофонической записи, так как позволяют выявить малейшие дефекты фонограммы.

В стереофонической аппаратуре предусматривается специальный выход для подключения головных телефонов. Обычно он представляет собой отвод от выходов для громкоговорителей. Поскольку мощность, необходимая для питания телефонов, в десятки раз меньше, чем для громкоговорителей, то излишнее напряжение гасится с помощью делителя напряжения или просто гасящего резистора. Такой выход рассчитан на подключение низкоомных телефонов.

Некоторые устройства, в которых отсутствует УМ (например, магнитофонные приставки), иногда оборудуются специальным маломощным усилителем — буфером для телефонов. Недопустимо прямое подключение низкоомных головных телефонов вместо громкоговорителей, поскольку случайное превышение выходной мощности усилителя может привести к выходу из строя телефона, а также к серьезной травме органа слуха.

Отечественная промышленность выпускает несколько видов динамических стереофонических головных телефонов: ТДС-4; ТДС-5; ТДС-6; ТДС-13; ТДС-14; ТДС-17. Их параметры незначительно отличаются друг от друга. Обычно в них применяют преобразователи электродинамического типа, аналогичные головки громкоговорителей, но имеющие значительно меньшие размеры.

В некоторых моделях телефонов используют так называемые изодинамические преобразователи, отличающиеся высокими техническими характеристиками: широким диапазоном воспроизводимых частот, малыми нелинейными и интермодуляционными искажениями. В таких телефонах в качестве преобразователя используется легкая пленочная диафрагма, на которую наносится медное покрытие в виде спирали. Часть металлизированной поверхности вытравливается, а оставшееся покрытие образует проводник катушки. Диафрагма такого телефона возбуждается по всей поверхности, что позволяет получить равномерную частотную характеристику. Практически масса диафрагмы изодинамической головки составляет около 100 мг (электродинамической — 300 мг).

Последняя модель изодинамического телефона "Амфитон-ТДС-15" имеет следующие технические характеристики: диапазон воспроизводимых частот 20 ... 20 000 Гц при неравномерности не более 10 дБ; в диапазоне частот 20 ... 8000 Гц — не более 6 дБ; расхождеиия частотных характеристик звукового давления левого и правого телефонов в днапазоне частот 250 ... 800 Гц — не более 2 дБ; коэффициент гармоники в диапазоне частот 100 ... 2000 Гц при номинальном уровне звукового даааления (94 дБ) — не более 0,3 %; сопротивление 16 Ом. Звукоизоляция от внешних шумов составляет примерно 20 ... 30 дБ.

Некоторым неудобством при использовании головных телефонов яаляется соединительный провод, который "привязывает" слушателя к выходу радиоустройства. Этого недостатка не имеют так называемые беспроволочные головные телефоны. Для этого за рубежом и в нашей стране стали применять устройства инфракрасного излучения. Звуковоспроизводящий комплекс высшего класса "Амфитон" содержит инфракрасные телефоны, предназначенные для беспроводной трансляции звука от любого источника: тюнера, магнитофона, электропроигрывателя и других устройств. Комплект состоит из передатчика ИК сигналов и приемника, встроенного в головные телефоны. ИК телефоны обеспечивают воспроизведение звука в диапазоне 50...12000 Гц при круговой диафрагме приема в помещении площадью до 40 м^2.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСЛУШИВАНИЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИХ МУЗЫКАЛЬНЫХ ПРОГРАММ ЧЕРЕЗ ГОЛОВНЫЕ ТЕЛЕФОНЫ

Как уже говорилось, к левому и правому телефонам поступают сигналы соответствующего канала стереофонического устройства. Но это не означает, что телефоны создают стереоэффект при прослушивании двухканальной программы. Стереотелефоны обеспечивают весьма своеобразное бинауральное восприятие программы, отличное от стереоэффекта, получаемого с помощью громкоговорителей.

В чем это отличие заключается? Стереофоническое воспроизведение с громкоговорителями создает у слушателя впечатление присутствия в центре концертного зала. Благодаря этому слушатель различает направления на источники звука и звуковая картина всегда расположена впереди слушателя.

Бинауральный эффект имеет существенное отличие — он создает иллюзию нахождения слушателя непосредственно на сцене или в оркестре. Поэтому, слушая стереозапись с громкоговорителями, а затем надевая телефоны, слушатель как бы перемещается из центра концертного зала прямо на сцену. При этом звучание кажется более натуральным, с более ярким стереоэффектом, особенно четко воспринимается пространственность, прозрачность, тембральная окраска музыкального произведения.

Пространственная характеристика звукового образа создается при записи звукорежиссером. Сформированные сигналы левого и правого каналов при воспроизведении излучаются громкоговорителями. При воспроизведении сигналы от одного громкоговорителя, накладываясь на сигналы от другого, синтезируют звуковое поле между громкоговорителями.

Интенсивность и время прихода звука позволяют слушателю определить направление источника звука, а в соответствии с громкостью и реверберационной характеристикой оценить расстояние до его источника.

Несколько иначе обстоит дело при прослушивании стереозаписи через телефоны, камеры которых изолированы друг от друга. Здесь не происходит наложения сигналов одного канала на сигналы другого и образования звукового поля. Звуковая картина, созданная режиссером, искажается, и звуковой образ локализуется скорее внутри головы слушателя, чем вне ее, хотя отдельные его составляющие могут, оставаясь внутри головы, смещаться в сторону одного или другого уха.

С помощью головных телефонов можно полностью реализовать качество звучания воспроизводящего аппарата. Например, массовые кассетные магнитофоны имеют частотную характеристику по электрическому тракту от 40 до 14 000 Гц, но встроенный громкоговоритель может воспроизводить сигналы в диапазоне 80 ... 12 500 Гц. В этом случае прослушивание записи через высококачественные телефоны повысит качество звучания.

Вместе с тем следует сказать и о других особенностях пользования головными телефонами. Даже после сравнительно короткого периода прослушивания постоянное давление амбушюров на ушные раковины и недостаточный приток воздуха вызывают у человека, как правило, чувство тесноты и раздражения. Плотный прижим телефонов нарушает правильный теплообмен, создавая теплую и влажную среду, особенно в жаркие дни. К этому можно добавить, что при прослушивании через головные телефоны человек лишен возможности обмена впечатлениями с другими слушателями и отсутствие посторонних, но привычных шумов, как это не кажется странным, действует угнетающе.

Напомним, что использование телефонов представляет определенную опасность для органов слуха. При относительно небольшой подводимой мощности звуковое давление, создаваемое головными телефонами, может превышать уровень 120 ... 130 дБ. Поэтому пользоваться ими следует осторожно, и в первую очередь нельзя в процессе прослушивания резко увеличивать громкость. Случайное превышение выходной мощности усилителя, как уже говорилось выше, может привести к выходу из строя телефонов, а также к серьезной травме органов слуха.

К тому же, если учесть, что для большинства музыкальных программ пик-фактор (отношение среднего значения к максимальному) равен 15 ... 20, сигнал на телефонном выходе при установке регулятора громкости в положение максимвльного усиления может оказаться искаженным.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ МУЗЫКАЛЬНЫХ ЗАПИСЕЙ ПРИ ПРОСЛУШИВАНИИ

Очевидным следствием повышения верности воспроизведения является то, что все больше и больше любителей музыки уделяют внимание не только техническим характеристикам аппаратуры воспроизведения, но и качеству самих записей, осуществляемых звукорежиссером в студии. Нормы такого качества неуклонно повышаются: звучание, считавшееся образцом вчера, сегодня рассматривается как неудавшееся. Совершенствование аппаратуры подогревает интерес к выявлению неведомых ранее возможностей звуковой выразительности, что, в свою очередь, приводит к еще большей изощренности слуха и т.д.

Прослушивая грампластинки и магнитные фонограммы, любители часто не могут объяснить себе, почему нравится или не нравится та или иная запись, почему записи одного и того же ансамбля, исполнителя порой на разных дисках звучат по-разному. Иногда можно услышать, что солист (вокалист) звучит очень близко, а оркестр как будто бы из другого помещения, совсем в иной акустической атмосфере. На другой пластинке — наоборот, солист звучит как бы в глубине, а оркестр совсем рядом; не всегда можно различить текст у хора. Порой оркестр заглушает певца, нарушая все законы оркестрового баланса, необоснованно выделена, например, медная группа или ударник, звуки отдельных инструментов резкие, пронзительные и прочее.

Каким же требованиям должна отвечать хорошая запись? От чего зависит художественная выразительность записи, ее эмоциональное воздействие на слушателя?

Слушая, например, эстрадный концерт или оперу, слушатели не всегда придают значение разборчивости слов вокалиста, но к записи предъявляют строгие требования: слова исполняемой песни или арии должны быть слышны с наибольшей разборчивостью. Присутствующему на концерте слушателю зрительные впечатления скрашивают недостатки слуховых впечатлений. Возможность видеть инструменты, игру на них исполнителей, жесты дирижера психофизиологически компенсирует неполноценное слуховое впечатление.

Иначе обстоит дело при слушании музыкальной записи. Слушателю необходимы идеальные акустический и музыкальный баланс звучания, естественная звуковая перспектива, правильная передача ширины фронта звучания оркестра, пространственное размещение групп оркестра и солирующих инструментов.

Однако звуковой канал монофонического воспроизведения не может передать многослойность фактуры, полифонию музыкального произведения. Только стереофонии доступно передать каждый пласт сложной музыкальной ткани в различной звуко-

вой перспективе, на крупном, среднем или общем плане звучания. При стереовоспроизведении пространственное распределение отдельных инструментов, их четкая локализация делают общее звучание оркестра разборчивым, ясным, тембры инструментов воспринимаются "чистыми" и улучшается "прозрачность" звучания.

И еще одна важная особенность стереофонического воспроизведения: оно более точно передает акустическую атмосферу зала или студии, где исполняется музыкальное произведение. Возникающее при этом ощущение — "эффект присутствия" — многими слушателями оценивается как наиболее впечатляющее свойство стереофонии. Поэтому перед звукорежиссером, проводящим стереофонические записи, стоит много творческих и технических проблем.

Главная проблема — звучание музыкального произведения в записи должно максимально приближаться к естественному звучанию, воспринимаемому при непосредственном слушании. То есть, впечатление слушателя при прослушивании музыкального произведения в записи должно возможно более полно соответствовать тому впечатлению, которое он получил бы при прослушивании этого произведения в концертном зале с хорошей акустикой и при этом находился бы на наиболее удачном с точки зрения слышимости месте. Особенно это важно для классической музыки, имеющей столетиями выработанные традиции размещения групп инструментов в оркестре.

Традиции исполнения эстрадной и танцевальной музыки исторически видоизменялись под влиянием звукозаписи, которая в конечном счете и сформировала эстетические нормы восприятия у слушателя. Широкое использование искусственной реверберации, эффектов эха, сверхкрупных звуковых планов, специальной коррекции частот спектров голосов и инструментов, компрессирования динамического диапазона и других возможностей современной аппаратуры создало определенные художественные и технические нормы звучания эстрадной музыки через громкоговорители.

В своих выступлениях на эстраде исполнители учитывают установившиеся у публики слуховые нормы "звучания" микрофонной техники, поэтому трудно сказать, что такое реальное звучание эстрадной музыки.

Художественно-техническое качество записи определяется многими причинами: акустикой студии, техникой записи, приемами работы звукорежиссера, его фоническими решениями переноса реального звучания музыкального ансамбля на магнитную ленту. Большое значение имеет аранжировка или оркестровка музыкального произведения и, конечно, мастерство исполнителей.

Совершенно очевидно, что художественно-технический уровень записи — это необходимое условие для реальной оценки эстетического качества исполнения того или иного произведения. Для этого обратимся к практике профессиональной оценки качества музыкальных записей по субъективным параметрам. Такая оценка требует определенной музыкальной культуры, опыта, развитого слуха, навыка аналитического прослушивания музыки, знания специфических особенностей звукозаписи.

Несколько слов о музыкальном слухе. Восприятие музыкального материала можно условно подразделить на аналитическое и синтетическое. Человек, обладающий аналитическим слухом, или, как иногда говорят, абсолютным слухом, способен правильно определить интервалы звукопередачи, высоту звука, выделить отдельные инструменты из групп звучащих, т.е. произвести анализ звукового процесса. Люди с таким слухом одарены способностью запоминать звучания и распознавать их через некоторое время. Человек с абсолютным музыкальным слухом может правильно проанализировать прослушанное. Люди, не обладающие абсолютным слухом, могут определить

ритм, мелодию, тембр, тональность, но произвести достаточно точный анализ звукового процесса для них затруднительно. Большинство людей имеет слух, содержащий в себе в каких-то пропорциях элементы того и другого слуха.

Определение художественно-технического качества записи сводится к оценке следующих параметров: пространственности, "прозрачности", музыкального баланса и тембра программы.

Пространственное впечатление — параметр звуковой картины, субъективно слуховая оценка которого связана с размерами студии и размещением в ней исполнителей (музыкальных инструментов) в процессе записи. Важным достоинством музыкальных записей является ощущение звуковой перспективы в глубину и ширину, т.е. иллюзия различных расстояний от слушателя до тех или иных групп оркестра или солистов. Ощущение близости или отдаленности различных групп оркестра оказывает на слушателя значительное психологическое воздействие. Звуковая перспектива в глубину должна особенно чувствоваться в записях крупных исполнительских коллективов, занимающих большое пространство на концертной эстраде, студии (опера, оперетта, оратория, кантата, произведение для солиста с оркестром, сочинение для симфонического, народного, духового оркестров).

На концерте симфонической музыки мы совершенно ясно ощущаем многоплановость звучания оркестра. Расположенная непосредственно перед слушателями струнная группа звучит соответственно ближе, ярче, выпуклее, чем сидящая за ней группа деревянных духовых, за которой следуют медные и ударные инструменты, звучащие по мере отдаления от слушателя все глубже и глубже, с большим количеством отраженных звуковых волн.

Придерживаясь такого расположения инструментов симфонического оркестра, звукорежиссер должен передать на магнитной ленте планы звучания, соответствующие расположению каждой группы оркестра, сохраняя для слушателя естественную перспективу звучания. То, что расположено ближе к слушателю в концертном зале, должно звучать так же и с грампластинки.

Правильно построенная пространственная звуковая картина в некоторой степени воссоздает объемность звучания. При оценке пространственности учитывают акустическую обстановку записи — соответствие размеров помещения числу исполнителей и характеру записываемого произведения, а также характер реверберации (оптимальная, повышенная или недостаточная) и акустический баланс*. Если в записи музыкального ансамбля пространственное впечатление не соответствует размещению исполнителей, ощущается нарушение привычной звуковой перспективы, то в первую очередь это обусловлено неправильным выбором акустического баланса для каждой группы исполнителей.

Совершенно в ином плане решается вопрос о пространственности в записях эстрадных жанров. Критерием акустической обстановки в этом случае является акустическая разноплановость, например, ритмическая группа записывается в близком звуковом плане сухо, четко, а скрипки звучат чуть дальше, но не очень сочно.

Впечатление от прослушивания записи может характеризоваться как плоское или объемное (воздушное), блестящеbе или тусклое (без оттенков). В любом случае звук

---

* Акустический баланс — это субъективная, а также объективная мера отношения энергии отраженного звука к прямому, попадающему в микрофон непосредственно от источника звука.

должен быть естественным, а не искусственным, если только не ставилась задача получить какие-либо специальные эффекты.

"Прозрачность" звучания музыкального произведения воспринимается как раздельное восприятие отдельных групп инструментов, оркестра, ясность музыкальной фактуры*, разборчивость словесного текста у солистов хора. Слушатель должен как бы увидеть, чем "заняты" отдельные группы инструментов в одновременно звучащей массе оркестра. Записи музыкальных произведений с хорошей "прозрачностью" и пространственной звуковой картиной производят на слушателя сильное впечатление.

"Прозрачность" зависит от акустической обстановки, музыкального и акустического баланса, применения искусственной реверберации, а также от инструментовки исполняемого музыкального произведения. Неудачное размещение исполнителей при записи несет потерю четкости, ясности, а иногда даже тембра.

В монофонических записях эффект взаимной маскировки звучания различных инструментов сказывается больше, чем при стереофонии, и хорошая "прозрачность" встречается редко.

Техническое усовершенствование звукозаписывающей аппаратуры: использование частотной коррекции, искусственной реверберации, применение многодорожечной записи, способы наложения и сведения значительно расширили художественные возможности создания фонограмм, эстрадной музыки, придав им совершенно новое качество. Неудачно выполненная инструментовка или аранжировка не позволят звукорежиссеру добиться красивого пространственного впечатления, хорощей "прозрачности", оптимального музыкального баланса.

Существенным фактором, определяющим качество записи, является музыкальный баланс, под которым подразумевается правильное с музыкальной точки зрения соотношение громкости между разными музыкальными инструментами и их группами. На концерте правильный баланс устанавливается дирижером и исполнителем в самом оркестре, но в студии при записи баланс устанавливает звукорежиссер.

Каждый, даже не искушенный слушатель может легко констатировать нарушение баланса, услышать несоответствие звучания, например, между солистом и оркестром: гремит оркестр и плохо слышно солиста или певец чрезвычайно громок, а оркестр "зажат".

Поясним это на простом примере: прослушаем пластинку с записью вокалиста в сопровождении рояля. Певец должен звучать более выпукло, громче, нежели сопровождающий его рояль. Следует подчеркнуть — именно выпукло и громче. Не надо путать "громче" с "ближе", а "тише" с "дальше", смешивая, таким образом, музыкальный баланс с акустическим. То есть, исполнения в записи должны звучать так, как звучат на концерте, где аккомпанемент согласуется по громкости с певцом согласно динамическим оттенкам, указанным композитором.

Хорошая по качеству запись музыкального произведения предполагает сохранение для слушателя естественного тембра звучания (окраски звука), присущего не только отдельному музыкальному инструменту или певческому голосу, но и всему оркестру или хору в целом.

---

* Фактура — средство музыкального изложения, из которого складывается техническая структура произведения. Этими средствами являются: аккорды, мелодия, полифония, разборчивость словесного текста у вокалистов и хора, четкость дикции речи у чтецов.

Необходимо отметить, что при записи эстрадной музыки звукорежиссер нередко предиамеренно изменяет естественный тембр звучания, когда это предусмотрено творческим замыслом автора музыкального произведения или самого звукорежиссера. В этих случаях изменение тембра производится введением линейно-амплитудных искажений с помощью частотных корректоров, других приборов обработки сигналов (ревербератора, фдэнджера, гармонайзера и др.).

В заключение следует оценить стереофоническое звучание фонограммы. Субъективно оценивается локализуемость кажущихся отдельных источников в передаваемой звуковой картине, а также ширина воспроизведения — протяженность звуковой картины. В зависимости от характера и художественного содержания передаваемого произведения она может быть меньше или больше ширины базы при сохранении ощущения картины и плавности перемещения источников. Для оценки этой характеристики следует находиться в месте, рекомендованном для прослушивания стереофонических программ.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ТЕРМИНЫ И ОБОЗНАЧЕНИЯ БЫТОВОЙ РАДИОАППАРАТУРЫ (ГОСТ 26794—85)

Бытовые радиоприемные устройства

Магнитола	РМ
Магниторадиола	РЭМ
Радиоприемник	РП
Радиола	РЭ
Стереокомплекс (изделие, состоящее из всех видов источников программ, усилителя и акустической системы, в блочном исполнении)	РЭМ
Тюнер	Т
Тюнер-усилитель	РУ
Телерадиотюнер (тюнер для приема программ телевидения и радиовещания)	ТРТ

Бытовая аппаратура магнитной записи

Диктофон	ДФ
Магнитофон катушечный	МК
Магнитофон кассетный	М
Магнитофон-приставка катушечная	МПК
Магнитофон-приставка кассетная	МП
Магнитоэлектрофон	МЭ
Проигрыватель кассетный	П

Электрофоны и электропроигрыватель

Головка звукоснимателя пьезоэлектрическая	ГЗП
Головка звукоснимателя магнитная	ГЗМ
Головка звукоснимателя динамическая	ГЗД
Лазерный проигрыватель	ЛП
Электрофон	ЭФ
Электропроигрыватель	ЭП

Бытовая акустическая аппаратура

Акустическая система	АС
Активная акустическая система	АСА
Абонентский громкоговоритель	АГ
Приемник трехпрограммный	ПТ
Стереотелефоны	СТ

Усилители и другие дополнительные устройства

Звукопроцессор (устройство преобразования звукового сигнала: повышение объемности и естественности звучания, электронная реверберация, шумоподавление т.д.)	ЗВП
Усилитель (полный)	У
Усилитель мощности	УМ
Усилитель предварительный	УП
Усилитель телевизионный антенный	УТ
Усилитель-корректор	УК
Устройство дистанционного беспроводного управления	ДУ
Шумоподавитель	Ш
Эквалайзер	Э

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НЧ АППАРАТУРЫ

Согласно ГОСТ 24838—81 установлены следующие нормы входного и выходного сопротивлений и напряжений усилителей НЧ; магнитофонов, электрофонов и используемых согласно с ними звукоснимателей, тюнеров, акустических систем и головных телефонов:

Сопротивление входа аппаратуры, кОм, для подключения:

- звукоснимателя магнитного ... 47±10 %
- звукоснимателя пьезоэлектрического, не менее ... 470
- тюнера, детекторного выхода приемника, магнитофона (линейный выход) ... 220

Выходное напряжение, В:

- звукоснимателя магнитного, не менее ... 0,005
- звукоснимателя пьезоэлектрического, не менее ... 0,5
- тюнера, детекторного выхода приемника, магнитофона (линейный выход) ... 0,4 ... 0,6

Минимальное напряжение, В, соответствующее номинальному уровню выходного сигнала, на входе аппаратуры для подключения:

- звукоснимателя магнитного ... 0,002
- звукоснимателя пьезоэлектрического, тюнера, детекторного выхода приемника, магнитофона (линейный выход) ... 0,2

Выходное сопротивление тюнера, детектора приемника, магнитофона (линейный выход), кОм, не более ... 22

Сопротивление входа аппаратуры, предназначенного для подключения выхода тюнера, детекторного выхода приемника, магнитофона (линейный выход), кОм, не менее ... 220

Выходное сопротивление предварительного усилителя, кОм, не более ... 1

Сопротивление усилителя мощности по входу, предназначенному для подключения предварительного усилителя, а также сопротивление входа акустической системы со встроенным усилителем мощности, кОм, не менее ... 10

Номинальное выходное напряжение предусилителя и минимальное напряжение на входе усилителя мощности, соответствующее номинальной выходной мощности, В ... [illegible]

Номинальное входное сопротивление, Ом,

- громкоговорителя ... 4,8
- головных телефонов ... [illegible]

Номинальная мощность на выходе аппаратуры для подключения головных телефонов, Вт, не менее ... 0,1

Сопротивление выхода аппаратуры для подключения головных телефонов, Ом ... 120±20%

Полное выходное сопротивление усилителя мощности во всей полосе передаваемых частот должно быть не менее 1/3 полного номинального сопротивления нагрузки.

На выходные параметры радио- и телевизионных приемников, усилителей НЧ и электрофонов, а также параметры входа магнитофонов для записи от этих источников установлены следующие нормы:

- Сопротивление выхода, кОм, не менее ... 150
- Номинальный выходной ток, мВ/кОм ... 0,5
- Сопротивление входа магнитофона, кОм, не более ... 47
- Минимальный ток источника входного сигнала, соответствующий номинальному уровню записи, мВ/кОм, не более ... 0,2
- Кратность перегрузки источника входного сигнала, раз, не менее ... 10

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОПРОИГРЫВАТЕЛЕЙ

Тип электропроигрывателя	Номинальный диапазон частот, дБ	Коэффициент детонации, %	Отношение сигнал-рокот, дБ	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
"Электроника ЭП-07С"	20 ... 20 000	0,1	66	400×340×120	8,5
"Корвет ЭП-038С"	20 ... 20 000	0,08	67	485×370×225	12,5
"Арктур-006С"	20 ... 20 000	0,1	66	460×375×160	12
"Эпос-001С"	20 ... 20 000	0,06	70	480×410× 130	16
"Вега ЭП-110С*"	31,5 ... 16 000	0,15	60	430×380×130	10
"Вега ЭП-120С"	31,5 ... 16 000	0,15	60	430×380×130	10
"Орфей-103С"	31,5 ... 16 000	0,15	63	440×395×118	8
"Россия-105С"	31,5— ... 16 000	0,15	60	440×340×115	9

* Имеется специальный усилитель для прослушивания через головные телефоны.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАССЕТНОЙ БАМЗ

Модель	Параметр				Функциональная насыщенность
	Коэффициент детонации, ± %	Рабочий диапазон частоты, Гц	Отношение сигнал-помеха, дБ, не менее	Масса, кг	
1-я группа сложности					
"Рапри МП-102 стерео"	0,12	30 ... 18 000	56	5,5	1, 2, 3, 6, 11
"Маяк МП-140 стерео"	0,12	31,5 ... 18 000	56	5,5	1, 2, 6, 12, 14, 18
"Маяк МП-150 стерео"	0,12	31,5 ... 18 000	56	6,3	1, 2, 4, 6, 8, 17, 19, 20
"Вильма МП-104 стерео"	0,12	31,5 ... 18 000	62	10,8	1, 3, 6, 12, 14
"Вильма МП-106 стерео"	0,12	31,5 ... 18 000	62	6	1, 6, 14, 17, 18
"Вильма МП-108 стерео"	0,12	31,5 ... 18 000	62	7	1, 5, 6, 12, 14, 15, 16, 22
"Вильма МП-112 стерео"	0,12	31,5 ... 18 000	62	7	1, 2, 3, 6, 14, 17, 18, 19
"Орбита МП-102 стерео"	0,15	31,5 ... 16 000	64	8,8	1, 2, 6, 7, 12, 13, 21, 22
"Орбита МП-103 стерео"	0,12	31,5 ... 18 000	56	6,7	1, 6, 12, 17, 21, 22
"Вега МП-120 стерео"	0,15	31,5 ... 18 000	60	7,5	1, 5, 6, 14, 17, 18, 22
"Вега МП-122 стерео"	0,15	31,5 ... 18 000	68	6,8	1, 5, 6, 9, 12, 14, 17, 18, 19, 20
"Орель МП-101 стерео"	0,15	31,5 ... 18 000	56	7,9	1, 2, 5, 12, 14
2-я группа сложности					
"Санда МП-207 стерео"	0,18	31,5 ... 16 000	65	8	1, 3, 4, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 24
"Нота МП-220 стерео"	0,15	30 ... 16 000	62	8	1, 5, 6, 12, 17, 19, 21
"Нота 225 стерео"	0,2	40 ... 14 000	59	9,5	1, 5, 6, 12, 14, 25
"Яуза МП-221 стерео"	0,12	31,5 ... 16 000	60	4,5	1, 3, 5, 6, 11, 12, 14
"Романтика МП-221 стерео"	0,25	40 ... 12 500	55	7,5	1, 5, 6, 12, 14, 19, 21
"Карат МП-201 стерео"	0,2	63 ... 16 000	54	6,8	1, 5, 19, 22
"Маяк МП-240 стерео"	0,2	40 ... 14 000	54	6	1, 5, 12, 14, 21
"Вильма МП-207 стерео"	0,12	31,5 ... 16 000	60	8	1, 2, 5, 6, 12, 17, 19, 20, 22, 23
"Орель МП-201 стерео"	0,2	31,5 ... 12 500	65	7,9	1, 3, 12, 11, 14
"Вильма МП-212 стерео"	0,14	31,5 ... 14 000	54	5,8	1, 6, 12, 13

Перечень функциональных возможностей БАМЗ:

Условное обозначение	*Функции*
1	Использование ленты МЭК II
2	Использование ленты МЭК IV
3	Система шумопонижения, аналогичная Долби-В
4	Система шумопонижения, аналогичная Долби-С
5	Система шумопонижения типа "динамический фильтр"
6	Износостойкие магнитные головки
7	АРУЗ отключаемая
8	АРУЗ неотключаемая
9	Формирование паузы автоматическое
10	Микширование сигналов с различных входов
11	Ручная подстройка тока подмагничивания
12	Электронное управление ЛПМ
13	Дистанционное управление
14	Автостоп
15	Реверс, ручное включение в любой момент
16	Реверс автоматический при окончании ленты ("Автореверс")
17	Автоматический поиск по паузе между фонограммами
18	Прослушивание начала каждой фонограммы с последующей перемоткой ("Обзор")
19	Дополнительный ЛПМ ("Дубль")
20	Ускоренная перезапись (тиражирование)
21	Память
22	Электронный счетчик ленты
23	Таймер
24	Эквалайзер
25	Носимый магнитофон (возможность питания от встроенного источника питания)

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАТУШЕЧНОЙ БАМЗ

Модель	Параметр					Функциональная насыщенность (расшифровку см. на стр. 129)
	Коэффициент детонации, ± %	Рабочий диапазон частоты, Гц	Отношение сигнал-помеха, дБ, не менее	Мощность выходная номинальная, Вт	Масса, кг	
0-я группа сложности						
"Идель МПК-001 стерео"	0,08	31,5 ... 28 000	68	—	27	5, 6, 10, 12, 13, 14, 15, 16
"Идель МПК-007 стерео"	0,08	31,5 ... 28 000	68	—	21	6, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 21
"Олимп МПК-004 стерео"	0,08	31,5 ... 22 000	60	—	28	13, 14, 15, 16, 17
"Олимп МПК-005 стерео"	0,08	31,5 ... 20 000	60	—	20	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 22
"Электроника МПК-004 стерео"	0,1	31,5 ... 22 000	60	—	22	5, 12, 13, 14, 17
1-я группа сложности						
"Ростов МПК-105 стерео"	0,09	30 ... 22 000	63	—	24	6, 12, 14
"Ростов МПК-111 стерео"	0,09	30 ... 22 000	63	—	20	5, 12, 13, 14
"Ростов МК-112 стерео"	0,08	25 ... 25 000	63	15×2	22,5	6, 10, 12, 14, 21, 22
"Ростов МПК-113 стерео"	0,09	31,5 ... 25 000	63	—	20	10, 12, 13, 14, 22, 21
"Санда МК-112 стерео"	0,09	31,5 ... 24 000	63	15×2	21	1, 12, 13, 14, 17, 22
"Союз МК-110 стерео"	0,1	31,5 ... 24 000	58	15×2	21,6	10, 12, 13, 14
"Союз МПК-111 стерео"	0,1	31,5 ... 22 000	60	—	20	10, 12, 13, 14
"Илеть МК-110 стерео"	0,09	30 ...22 000	56	15×2	24	12, 13, 15
"Иссык-Куль МПК-101 стерео"	0,1	25 ... 24 000	60	—	22	5, 6, 11, 12, 13
"Астра МК-110-1 стерео"	0,09	20 ... 24 000	60	4×2	15,5	13, 14
"Астра МК-111 стерео"	0,08	20 ... 28 000	58	10×2	16,5	10, 12, 13, 22
"Комета МК-120 стерео"	0,15	31,5 ... 20 000	58	10×2	25	12, 13, 14
"Орбита МК-106 стерео"	0,1	31,5 ... 20 000	58	15×2	23	10, 12, 13, 14, 23
"Орбита МПК-107 стерео"	0,09	31,5 ... 22 000	65	—	20	12, 13, 14
2-я группа сложности						
"Юпитер МК-203 стерео"	0,14	40 ... 18 000	54	6×2	16	14
"Эльфа МК-201 3 стерео"	0,14	31,5 ... 20 000	60	2×2	17	14
"Сатурн МК-202 3 стерео"	0,2	40 ... 20 000	52	6×2	15	13, 14

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТЮНЕРОВ

Модель[1]	Диапазон	Чувствительность в диапазонах, мкВ		Полоса воспроизводимых звуковых частот тракта, Гц		Коэффициент нелинейных искажений, %	Отношение сигнал-шум стерео, дБ
		ДВ, СВ, КВ	УКВ	АМ	ЧМ		
"Ласпи-003"	УКВ	—	2,5	—	31,5 ... 15 000	1	56
"Корвет-004"	СВ, УКВ	100	2,5	50...3550	21,5...15 000	1	66
"Ласпи-005"[2]	ДВ, СВ1, СВ2, КВ1—КВ4, УКВ	90	2	40...7100	31,5...15 000	1	70
"Ласпи-005-1"	ДВ, СВ1, СВ2, КВ1—КВ4, УКВ	90	2	50...6300	20...15 000	0,8	70
"Эстония-010"	СВ, УКВ	100	2	80...3550	20...15 000	0,8	63
"Эстония-011"	ДВ, СВ, КВ, УКВ	50	2	40...7000	31,5...15 000	0,8	66
"Орбита Т-002"	ДВ, СВ, КВ1, КВ2, УКВ	50	1,8	63...6500	31,5...15 000	0,8	66
"Орбита Т-003"[3]	УКВ, ТВ1, ТВ2	—	1,7	—	31,5...15 000	1	66
"Ласпи Т-010"[2]	ДВ, СВ, КВ, УКВ	100	2	63...6300	20...15 000	0,8	70
"Ласпи Т-011"	УКВ	—	2	—	20...15 000	0,8	66
"Радиотехника Т-7102"	УКВ, ДВ, СВ, КВ1—КВ5	100	4,	40...6500	31,5...15 000	1,5	50
"Радиотехника Т-101"	ДВ, СВ, КВ1, КВ2, УКВ	100	1,5	63...4000	31,5...15 000	1,5	56
"Корвет-104"	СВ, УКВ	30	2	125...3550	50...14 000	1,5	50
"Прибой-114"	УКВ	—	3	—	50...14 000	1	50

[1] Все модели стереофонические.

[2] Тюнер-усилитель.

[3] Предусмотрен прием звукового сопровождения программ телевидения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЕЙ

Наименование	Диапазон воспроизводимых частот, Гц	Отклонения АЧХ лин. вх./кор. вх., дБ	Выходная мощность на канал, Вт (4 Ом)	Коэффициент общих гармонических искажений, %	Сигнал-взвешенный шум лин. вх./кор. вх., дБ	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Предварительный усилитель							
"Радиотехника УП-001"	20...20 000	—0,3/—0,5	—	0,03	80/71	430×390×80	7,2
"Корвет УП-028"	20...20 000	—1/—1,5	—	0,01	80/63	480×378×116	11
"Корвет УП-078"	20...20 000	—1/0,5	—	0,02	90/74	480×378×116	10
"Амфитон УП-003"	20...25 000	—0,5/—0,7	—	0,05	80/68	460×365×90	6,5
"Орбита УП-002"	20...25 000	—0,5/—0,7	—	0,02	90/74	320×320×60	6
"Эстония УП-010"	20...25 000	—0,3/—0,5	—	0,03	86/71	460×360×80	7
Усилитель мощности							
"Радиотехника УМ-001"	20...20 000	—0,2	50	0,03	105	430×380×120	15
"Корвет УМ-0,38"	20...20 000	—0,3	50	0,01	100	480×377×120	17
"Корвет УМ-43"	20...20 000	—0,3	100	0,01	100	480×377×180	22
"Корвет УМ-048"	20...25 000	—0,3	100	0,01	90	480×377×180	22
"Орбита УМ-002"	20...25 000	—0,4	50	0,07	100	320×320×60	8
"Эстония УМ-010"	20...25 0000	—0,4	50	0,03	105	460×360×80	12,2
"Амфитон УМ-003"	20...20 000	—0,4	50	0,07	90	460×365×91	10,5
Полный усилитель							
"Амфитон У-005"	20...25 000	—1,5/—2	35	0,1	80/70	390×375×82	8

Наименование	Диапазон воспроизводимых частот, Гц	Отклонения АЧХ лин. вх./кор. вх., дБ	Выходная мощность на канал, Вт (4 Ом)	Коэффициент общих гармонических искажений, %	Сигнал-взвешенный шум лин. вх./кор. вх., дБ	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
"Амфитон У-002"	20...25 000	—0,7/0,7	25	0,15	80/70	390×375×88	9
"Амфитон А-001"	20...20 000	—1,5/—2	20	0,3	79/70	470×395×150	15
"Бриг-001"	20...20 000	—1,1/—1	50	0,1	86/69	452×372×118	15
"Барк-001"	20...25 000	—0,7/—0,7	50	0,1	86/70	452×372×118	15
"Пульсар-001"	20...25 000	—1,5/—2	35	0,25	85/72	460×360×30	11,5
"Одиссей-010"	20...20 000	—0,7/—1	50	0,05	80/70	460×395×136	15
"Форум У-001"	20...25 000	—0,5/—0,7	100	0,01	90/75	440×425×135	18
"Электроника У-003"	20...20 000	—0,3/—0,7	20	0,3	70/70	300×260×66	4,5
"Электроника У-043"	20...22 000	—0,7/—1,5	20	0,3	75/66	320×320×60	6
"Кумир У-001"	20...25 000	—0,5/—1	35	0,1	80/70	460×360×90	10
"Эстония У-016"	20...25 000	—0,7/—1,5	35	0,3	90/75	430×360×60	7
"Орбита У-003"	20...25 000	—1,0/—1,5	50	0,1	80/70	430×360×80	6
"Радиотехника У-711"	10... 30 000	—0,5/—0,7	50	0,2	60/54	430×360×72	7,5
"Амфитон У-101"	20...20 000	—0,5/—0,7	25	0,3	70/70	430×406×125	10,5
"Вега У-120"	20...20 000	—1,5/—2	25	0,3	60/54	430×360×120	7
"Радиотехника У-101"	20...20 000	—1,5/—1,5	20	0,3	60/54	430×370×80	9
"ВЭФ-101"	40...18 000	—3,0/—3	10	0,7	60/52	390×300×100	6,5
"Электрон-104"	20 ...20 000	—2,0/—2	15	0,7	60/52	435×285×175	12
"Романтика У-120"	20 ...20 000	—1,5/—2	10	0,3	66/58	460×350×90	7

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭКВАЛАЙЗЕРОВ

Тип[1]	Число полос, шт.	Глубина регулировки, дБ	Коэффициент общих гармонических искажений, % %	Отношение сигнал-шум, дБ	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
"Орбита ЭК-002"	10	12	0,02	95	320×320×60	5
"Корвет-014"	10	12	0,02	100	480×320×110	6
"Прибой ЭК-014"	10	12	0,02	100	430×320×110	3,9
"Прибой Э-024"	10	12	0,01	110	430×320×110	4,9
"Прибой ЭК-015"	10	12	0,01	100	430×320×110	4,5
"Феникс-008"	10	10	0,01	100	430×320×110	5
"Электроника Э-001"	8	12	0,2	76	300×260×66	3
"Электроника Э-06"	15	12	0,08	80	485×365×105	6
"Электроника Э-043"	10	15	0,05	85	320×320×60	4
"Гелиос-006"	6	10	0,05	65	400×250×120	5,5
"Космос Э-001"	10	12	0,04	100	460×335×91	6
"Амфитон Э-005"[2]	3	15	0,02	96	400×360×91	5,9

[1] Все типы двухканальные.

2 Параметрический.

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Тип акустической системы	Тип комплектующих головок громкоговорителей	Диапазон воспроизводимых частот, Гц	Неравномерность АЧХ, дБ	Уровень характеристической чувствительности, дБ/Вт/м	Номинальное электрическое сопротивление, Ом	Паспортная мощность, Вт	Габаритные размеры (высота, ширина, глубина), см, или объем, дм³	Вид акустического оформления	Масса, кг
10АС-211	10ГДШ-1	63...18 000	18	87	4	10	34	Закрытое	8,5
10АС-203	10ГДШ-1	63...18 000	18	87	4	10	34	"	8,5
10-АС-222	25ГДН-1, 6ГДВ-1	63...18 000	16	84	4	30	37×21×18	Фазоинвертор	6
15АС-213	25ГДН-3, 6ГДВ-3	80...20 000	16	81	4	25	7,2	"	5,5
15АС-214	25ГДН-4, 8ГДВ-1	63...20 000	16	85	4	25	31×10×19	Закрытое	7
15АС-232	25ГДН-4, 8ГДВ-1	40...20 000	16	85	4	25	19	Фазоинвертор	7
15АС-109	25ГДН-3, 15ГДВ-1	40...20 000	16	84	4	25	36×22×19	"	6,8
15АС-110	25ГДН-3, 15ГДВ-1	40...20 000	16	84	8	25	36×22×19	"	6,8
25АС-109	35ГДН-1, 20ГДС-4, 5ГДВ-1	40...20 000	16	84	4	50	48×29×27	Закрытое	13
25АС-126	35ГДН-1, 15ГДВ-1	40...20 000	16	84	4	40	48×29×27	"	13
25АСЭ-101	Электростатические	50...20 000	12	96 на 10В	—	20В	92×62×36	"	25
25АС-131	50ГДН-3, 10ГИ-1	40...25 000	16	87	4	50	52×30×26	"	15
25АС-128	50ГДН-3, 15ГДВ-1	40...20 000	16	84	4	50	28	Фазоинвертор	15
25АС-132	50ГДН-3, 20ГДС-4, 15ГДВ-1	40...25 000	—	84	4	50	29; 6,4; 22	Модульное	18,3
25АС-027	75ГДН-1, 20ГДС-4, 6ГДВ-4	31,5...31 000	16	86	4	90	62×36×32	Фазоинвертор	25
35АС-012 (S-90)	75ГДН-1, 20ГДС-4, 15ГДВ-1	31,5...25 000	16	86	4	90	71×36×29	-"	27
35АС-013 (S-70)	30ГД-6, 20ГДС-4, 15ГДВ-1	31,5...25 000	16	86	4	70	58×33×24	С ЭМОС	32
"Орбита" 35АС-016	75ГДН-1, 20ГДС-4, 15ГДВ-1	31,5...25 000	16	86	4	90	71×2×737	Фазоинвертор	26

Окончание приложения 9

Тип акустической системы	Тип комплектующих головок громкоговорителей	Диапазон воспроизводимых частот, Гц	Неравномерность АЧХ, дБ	Уровень характеристической чувствительности, дБ/Вт/м	Номинальное электрическое сопротивление, Ом	Паспортная мощность, Вт	Габаритные размеры (высота, ширина, глубина), см или объем, дм³	Вид акустического оформления	Масса, кг
35АС-015	75ГДН-1, 20ГДС-4, 15ГДВ-1	31,5...25 000	16	86	4	90	71×36×29	Фазоинвертор, с ПИ	27
35АС-018	75ГДН-1, 20ГДС-4, 15ГДВ-1	25...25 000	16	86	4	90	76	Фазоинвертор	27
35АС-021	50ГДН-1, 20ГДС-2, 10ГДВ-1	25...25 000	16	86	4	50	57	"	20
"Кливер" 35АС-028	75ГДН-1, 20ГДС-4, 6ГДВ-4	25...25 000	16	86	4	75	71×40×36	Закрытое	30
35АС-ДС-017	75ДН-3, СЧ и ВЧ электростатические	25...25 000	16	85	4	50	107×36×35	Фазоинвертор	30
"Амфитон" 35АС-022	75ГДН-1, 20ГДС-4, 15ГДВ-1	25...25 000	16	86	4	90	83	-"	32
50АС-022	75ГДН-3, 20ГДС-3, 6ГДВ-7	25...25 000	16	89	4	80	67×36×33	—"	24
"Орбита" 75АСЗ-001	2хНЧ, 2х(СЧ, ВЧ)	25... 25 000	16	89	4	100	27×16×15 28; 12	Модульное	38
75АС-001	10ГДН-3, 30ГДС-1, 10ГДВ-4	25...31 000	16	90	8	100	92	Фазоинвертор	32
1000АС-003	100ГДН-1, 30ГД-8, 10ГД-43	20...3000	12	85	4	150	123×48×40	Закрытое	60
100АС-060	НЧ, СЧ и ВЧ головки	25...25 000	12	90	8	100	91×47×45	Фазоинвертор	51
100АС-063	С металлическими	25...25 000	12	90	8	75	76×39×31	-"	30

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акустика: Справочник/Под ред. М. А. Сапожникова. — М.: Радио и связь, 1989.

Атаев Д. И., Болотников В. А. Функциональные узлы усилителей высококачественного звуковоспроизведения. — М.: Радио и связь, 1989.

Алексеев Ю. П. Бытовая радиоприемная и звуковоспроизводящая аппаратура. — М.: Радио и связь, 1989.

Алдошина И. А. Электродинамические громкоговорители. — М.: Радио и связь, 1989.

Алдошина И. А., Войшвилло А. Г. Высококачественные акустические системы и излучатели. — М.: Радио и связь, 1985.

Василевский Ю. А. Носители магнитной записи. — М.: Искусство, 1989.

Дворецкий И. М., Дриацкий И. Н. Цифровая передача сигналов звукового вещания. — М.: Радио и связь, 1987.

Дегрелл Л. Проигрыватели и грампластинки. — М.: Радио и связь, 1982.

Золотухин И. П. и др. Цифровые звуковые магнитофоны. — Томск: Радио и связь, 1990.

Ковальгин Ю. А. Стереофония. — М.: Радио и связь, 1989.

Козюренко Ю. И. Звукозапись с микрофона. — М.: Радио и связь, 1988.

Накадзима Х., Огава Х. Цифровые пластинки. — М.: Радио и связь, 1988.

Несуленко В. Н. Психология слухового восприятия. — М.: Наука, 1988.

Назайкинский Е. В. Звуковой мир музыки. — М.: Музыка, 1988.

Прокофьев В. Г., Пахарьков Т. Н. Зарубежная бытовая радиоэлектронная аппаратура. — М.: Радио и связь, 1988.

Рачев Д. Вопросы любительского высококачественного звуковоспроизведения. — Л.: Энергоиздат, 1982.

Синклер Я. Введение в цифрову звукотехнику. — М.: Энергоатомиздат, 1990.

Соколов А. СДП в кассетных магнитофонах//Радио. — 1988. — № 5. — С. 62.

Сухов Н. Динамическое подмагничивание//Радио. — 1983. — № 5. — С. 36, № 11. — С. 62.

Сухов Н. СДП-2//Радио. — 1987. — № 1. — С. 39, № 2. — С. 34.

Сухов Н. Е. и др. Техника высококачественного звуковоспроизведения. — Киев: Техника, 1985.

Щербина В. И. Цифровая звукозапись. — М.: Радио и связь, 1989.

ГОСТ 23262—88. Системы акустические. Общие технические условия.

ГОСТ 24838—81. Входные и выходные параметры НЧ аппаратуры.

ГОСТ 24387—80Э. Изделия бытовой радиоэлектроники высокой верности воспроизведения (категории Hi — Fi). Технические требования и методы измерений.

ГОСТ 24388—88. Усилители звуковой частоты бытовые. Общие технические условия.

ГОСТ 24863—87. Магнитофоны бытовые. Общие технические условия.

ГОСТ 26794—85. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Название видов и система их обозначения.

ГОСТ 11157—87. Устройства воспроизведения механической звукозаписи. Общие технические условия.

ГОСТ 23936—79. Иглы для звукоснимателей алмазные.

ГОСТ 23963—86. Ленты магнитные для бытовой звукозаписи. Общие технические условия.

ГОСТ 27667—88. Система цифровая звуковая "компакт-диск". Параметры.

ГОСТ 5651—82. Устройства радиоприемные бытовые.

ГОСТ 20492—87. Кассета магнитофонная. Общие технические условия.

ГОСТ 18631—87. Головки звукоснимателей. Общие технические условия.

ГОСТ 5289—88. Грампластинки аналоговые. Общие технические условия.

ОСТ 4.202.003—84. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Методы экспертной оценки качества звучания.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Глава 1. Особенности восприятия звука 5

Частотные характеристики слуховых ощущений 6
Субъективные характеристики звука 7
Музыкальные источники звука 10
Эффект маскировки 14
Временные характеристики слухового восприятия 15
Пространственное представление о звуке 16
Некоторые особенности субъективного восприятия стереофонических передач 18

Глава 2. Основные показатели, определяющие качество звучания 18

Частотные искажения 19
Нелинейные искажения 21
Помехи 21
О роли акустики помещения прослушивания 23
Параметры качества стереофонических систем 24

Глава 3. Носители звуковой информации 25

Магнитные ленты 25
Грампластинки аналоговые 32
Особенности эксплуатации грампластинок 40

Глава 4. Аппаратура воспроизведения грамзаписи 41

Устройство, основные показатели современных ЭПУ 41
Звукосниматели 44
Головки звукоснимателя 45
Иглы 48
Электропроигрыватель "Корвет-038 стерео" 51

Глава 5. Аппаратура магнитной записи и воспроизведения звука 52

Классификация магнитофонов 52
Параметры аппаратуры магнитной записи 53
Факторы, влияющие на качество записи и воспроизведения 54
Система шумоподавления 58
Кассетные магнитофоны 60
Катушечные магнитофоны 63
Функциональные возможности катушечного магнитофона со сквозным каналом 65

Глава 6. УКВ радиовещание — источник музыкальных программ 68

Радиовещание в УКВ диапазоне 68
Прием радиопередач в диапазоне УКВ 69
Параметры радиоприемных устройств 71
Тюнеры 72

Глава 7. Цифровые системы записи и воспроизведения звука 73
Цифровая магнитная звукозапись 74
Кассетный цифровой магнитофон 77
Система "компакт-диск" 80
Цифровой лазерный проигрыватель 85
Считывание закодированного сигнала с компакт-диска 88
Глава 8. Усилители 89
Параметры высококачественных усилителей 89
Предварительный усилитель 95
Полный усилитель 98
Эквалайзеры 100
Глава 9. Акустические системы 103
Основные параметры акустических систем 103
Высококачественые акустические системы 107
Глава 10. Прослушивание стереопрограмм 111
Общие рекомендации 111
Особенности размещения акустических систем 113
Стереофонические головные телефоны 116
Особенности прослушивания стереофонических музыкальных программ через головные телефоны 118
Критерии оценки музыкальных записей при прослушивании 119
Приложение 1. Термины и обозначения бытовой радиоаппаратуры (ГОСТ 26794—85) 124
Приложение 2. Входные и выходные параметры НЧ аппаратуры 126
Приложение 3. Технические характеристики электропроигрывателей 127
Приложение 4. Технические характеристики кассетной БАМЗ 128
Приложение 5. Технические характеристики катушечной БАМЗ 130
Приложение 6. Основные параметры тюнеров 131
Приложение 7. Основные параметры усилителей 132
Приложение 8. Основные параметры эквалайзеров 134
Приложение 9. Основные параметры акустических систем 135
Список литературы 138